



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juuso Heikinheimo

# JÄYSTEENPOISTOTYÖKALU ROBOTISOITUUN JÄYSTEENPOISTOON

Selvitys, suunnitelma ja sovellus

Tekniikka

2018

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juuso Heikinheimo
Opinnäytetyön nimi	Jäysteenpoistotyökalu robotisoituun jäysteenpoistoon
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 4 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

---

Opinnäytetyö suoritettiin T-Drill-nimiselle putkityökaluja valmistavalle yritykselle. Projektissa sekä tutkimukselle, että suunnittelulle asetettiin tavoitteita. Tutkimusosuuden tavoitteena oli kyetä määrittämään yrityksen tarpeisiin soveltuva jäysteenpoiston menetelmä, jota voidaan soveltaa robotiikkaan. Suunnitelman tavoitteena oli hyödyntää kyseistä jäysteenpoistomenetelmää putkityökalun tuotantoon liittyvässä robotisoinnissa. Oleellisia käsitteitä työssä ovat jäysteenpoisto, robotiikka ja robotisoitu jäysteenpoisto.

Tutkimusvaihe tuotti riittävästi tietoa eri jäysteenpoistomenetelmistä, mikä mahdollisti menetelmien soveltuvuuden vertailun ja robotisoidun jäysteenpoiston suunnittelun aloittamisen. Suunnittelutyö, jota ohjasivat T-Drillin ennalta asettamat vaatimukset, eteni systemaattisesti. Tärkeitä ominaisuuksia jäysteenpoistosovellukselle olivat yksinkertaisuus, toimintavarmuus, edullisuus ja huollettavuus.

Eräs jäysteenpoistomenetelmistä osoittautui erityisen toimivaksi siinä käytettävien resurssien helpon saatavuuden, innovatiivisuuden ja järjestelmän yksinkertaisuuden ansiosta. Sovelluksen vaikutuksia tuotantoon ei voida välittömästi mitata, koska kyse on prototyypistä. Järjestelmällä on kuitenkin selkeää jatkokehityspotentiaalia, jota T-Drillin on tarkoitus hyödyntää automatisoidessaan tuotantoaan.

## ABSTRACT

Author	Juuso Heikinheimo
Title	Deburring tool for robotic deburring
Year	2018
Language	Finnish
Pages	59 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

---

The thesis was carried out working for a pipe molding tool manufacturer T-Drill. Two main objectives were set for the thesis project: a research objective and a design objective. The objective of the research was to discover a deburring method that would be applicable to robotics. The design objective consisted of designing a robotic deburring system that could be used to further automate the production of the pipe molding tools. Essential concepts for this thesis are deburring, robotics and robotic deburring.

The research yielded sufficient information to enable the designing of the robotic deburring system. The research was based on systematic actions that were guided by the predetermined requirements for the deburring system set by T-Drill. The key features of the deburring system were the simplicity of design, reliability, affordability, and serviceability.

A deburring method was proven especially favorable because of the innovative mechanics, the simplicity of the design and the availability of resources to produce it. The effects of the new system on production efficiency are not instantly measurable, however the system has a lot of potential for further development. T-Drill intends to utilize the development potential in further automating the production of the pipe molding tools.

## KIITOKSET

Koen tarpeelliseksi mainita muutamia henkilöitä, jotka ovat merkittävästi edesauttaneet ammatillista kehitystäni opiskeluni ja opinnäytetyöni aikana.

Haluan kiittää opettajiani heidän työpanoksestaan kouluttamiseni eteen ja haluan erityisesti mainita opinnäytetyöohjaajani ja ryhmänohjaajani Mika Billingin, joka on rennolla asenteellaan ylläpitänyt positiivista ja avointa oppimisympäristöä.

Iso kiitos kuuluu myös T-Drillin tuotanto- ja kehityspäällikkö Juha Murtomäelle, joka mahdollisti opinnäytetyön suorittamisen T-Drillillä sekä kanssani opinnäytetyön parissa työskennelleelle yhteyshenkilölle Juho-Pekka Hietamäelle. Maininnan arvoisia ovat myös T-Drillin Isonkyrön koneistamon henkilökunta, jotka ennakkoluulottomasti avustivat projektissa.

On vielä oleellista kiittää Teknikumin Timo Kokkosta, Jukka Koljosta ja Juha Penttilää heidän konsultaatio ja materiaalipanoksestaan opinnäytetyöprojektille.

Ilman näitä henkilöitä opinnäytetyöni tai osaamiseni ei olisi sillä tasolla missä ne ovat nyt.

Vaasassa 10.5.2018

Juuso Heikinheimo



# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Projektin tavoitteet.....	8
1.2	Menetelmät .....	9
1.3	Osapuolet .....	10
2	SOVELLUSYMPÄRISTÖ.....	12
2.1	Robotiikasta .....	12
2.2	Jäysteenpoistosta.....	15
3	LÄHTÖTILANNE .....	18
3.1	Robottisolu ja sen oheislaitteet .....	18
3.2	Jäysteenpoisto .....	19
3.2	Projektissa sovellettava jäysteenpoiston menetelmä .....	20
3.3	Jäysteenpoistosovelluksessa käytettävä robotiikka.....	22
4	SUUNNITELMA .....	25
4.1	Konseptointi.....	25
4.1.1	Konsepti 1 - Paineilmasyylintereillä ja rungolla toteutettu jousto	28
4.1.2	Konsepti 2 – Vain paineilmasyylintereillä toteutettu jousto .....	31
4.1.3	Konsepti 3 – Joustavalla materiaalilla toteutettu jousto.....	33
4.1.4	Konsepti 4 – Jousilla toteutettu jousto .....	36
4.1.5	Konsepti 5 – Kaksiosaisella jousella toteutettu jousto.....	39
4.1.6	Konsepti 6 – Lehtijousilla toteutettu jousto .....	42
4.2	Konseptien karsinta.....	44
4.3	Prototyyppi.....	45
4.4	Toimilaitteet.....	54
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	56
5.1	Arvio tuloksista.....	56
5.2	Pohdintaa omasta oppimisesta .....	57
	LÄHTEET .....	59
	LIITTEET	

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuvio 1.</b> Robottisolu.	s. 18
<b>Kuvio 2.</b> Esimerkki jäysteestä ja sen sijainnista	s. 19
<b>Kuvio 3.</b> Esimerkki putkityökalusta ja jäysteen sijainnista	s. 20
<b>Kuvio 4.</b> Konseptoinnin selitekuva.	s. 27
<b>Kuvio 5.</b> Konseptin 1. hahmottelupiirustus.	s. 28
<b>Kuvio 6.</b> Konseptin 1. 3D-malli edestä.	s. 29
<b>Kuvio 7.</b> Konseptin 1. 3D-malli takaa.	s. 30
<b>Kuvio 8.</b> Hahmoteltu esimerkki voiman jyrkästä kulmasta.	s. 30
<b>Kuvio 9.</b> Konseptin 2. hahmottelupiirustus.	s. 31
<b>Kuvio 10.</b> Konseptin 2. 3D-malli.	s. 32
<b>Kuvio 11.</b> Konseptin 3. hahmottelupiirustus.	s. 33
<b>Kuvio 12.</b> Konseptin 3. 3D-malli yläviistosta.	s. 34
<b>Kuvio 13.</b> Konseptin 3. 3D-malli sivusta.	s. 35
<b>Kuvio 14.</b> Konseptin 4. hahmottelupiirustus.	s. 36
<b>Kuvio 15.</b> Konseptin 4. 3D-malli yläviistosta.	s. 38
<b>Kuvio 16.</b> Konseptin 5. hahmottelupiirustus.	s. 39
<b>Kuvio 17.</b> Konseptin 5. 3D-malli yläviistosta.	s. 40
<b>Kuvio 18.</b> Konseptin 6. hahmottelupiirustus.	s. 42
<b>Kuvio 19.</b> Konseptin 6. 3D-malli yläviistosta.	s. 43
<b>Kuvio 20.</b> Hahmotelma joustimien muodosta.	s. 46
<b>Kuvio 21.</b> Työkalujärjestelmän 3D-malli ilman koteloa.	s. 47
<b>Kuvio 22.</b> Työkalujärjestelmän kotelon ensimmäinen versio	s. 48
<b>Kuvio 23.</b> Työkalujärjestelmän kotelon toinen versio	s. 49
<b>Kuvio 24.</b> Työkalujärjestelmän kokoonpano	s. 52
<b>Kuvio 25.</b> Pneumaattinen viilauskone	s. 53
<b>Kuvio 26.</b> Esimerkkikuva jäysteepoistosta työkalulla	s. 54
<b>Kuvio 27.</b> Fanuc M710 ic 45M -teollisuusrobotti.	s. 55
<b>Taulukko 1.</b> Työkalun testaussuunnitelma	s.51

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Haastattelun kysymyssarja

**LIITE 2.** Iskunvaimentimien ja kotelon osien mittapiirustukset

**LIITE 3.** Robotin tekniset tiedot

**LIITE 4.** Projektisuunnitelma

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on selvitystyö jäysteenpoiston eri menetelmistä, uuden jäysteenpoistojärjestelmän suunnittelu ja järjestelmän prototyypin rakentaminen T-Drill-nimisen putkityökaluja valmistavan yrityksen koneistamossa sijaitsevalle robottisolulle.

Projektin alkaessa T-Drillin Isonkyrön toimipisteessä sijaitsevassa robottisolussa teollisuusrobotti suoritti konepalvelutehtävää CNC-koneen tukena. Se suoritti aihioiden lastausta CNC koneeseen ja valmiiden osien siirtoa koneelta keräilyastiaan. Robottisolun oli kohdistunut hiljattain oppilasprojekti, jossa oli kehitetty kyseisen toiminnon automaatiotason nostamista. Onnistuneen projektin ansiosta, T-Drill halusi jatkaa robottisolun toiminnan kehittämistä oppilastyönä. Ideana oli, että robottisolun tehokkuutta kehitettäisiin valjastamalla robotti jäysteenpoistotehtävään niinä hetkinä, jolloin robotti muuten seisoisi toimeettomana konepalvelutyövaiheiden välissä. Tehtävä edellytti selvitys- ja suunnittelutyötä, jotka T-Drill oli valmis ulkoistamaan ammattikorkeakouluopiskelijalle.

Alussa yritys ja opiskelija ideoivat yhdessä, että projekti kattaisi tutkimustyön jäysteenpoiston menetelmistä, jäysteenpoistojärjestelmän suunnittelun, robottisolun työskentely-ympäristön suunnittelun, robotin ohjelmoinnin ja järjestelmän ylläpidon. Aihealuetta päätettiin kuitenkin supistaa paremmin opinnäytetyön aikatauluun sopivaksi ja päätettiin, että tämä projekti kattaisi vain tutkimustyön jäysteenpoistojärjestelmän suunnittelun kannalta oleellisista alueista, itse jäysteenpoistojärjestelmän suunnittelun ja prototyypijärjestelmän valmistamisen.

Oppilastyön tavoitteeksi muodostui siten jäysteenpoistotyökalun suunnittelu, prototyypittäminen ja jäysteenpoistosovelluksen suunnittelua palveleva selvitystyö.

## 1.1 Projektin tavoitteet

T-Drillin Isonkyrön toimipisteen robottisolun pääasiallinen tehtävä on CNC- koneen palveleminen. Automaatio sisältää työstettävien aihoiden lastaamisen CNC-koneelle ja valmiiden, koneistettujen putkityökalujen runkojen sijoittelun keräilyastiaan. Solu on hankittu juuri tätä tehtävää varten. Pääasiassa robottisolu on toiminut hyvin ja tehostanut tuotantoa huomattavasti.

Robottisolua on aikaisemmin kehitetty VAMK:in opiskelijaprojektina vuonna 2017, jolloin tavoitteena oli luoda robotille paineilmatoiminen jigi, joka auttaa robottia toimimalla otteenvaihtopisteenä. Tuloksena koko konepalveluprosessi voitiin suorittaa automaattisesti. Projekti päätettiin onnistuneesti ja jigi otettiin testauskäyttöön.

Tämä kehitys- ja suunnitteluprojekti on seuraava askel kohti täysin automatisoitua tuotantoa Isonkyrön robottisolussa. Nyt T-Drillin tavoitteena on parantaa tuotannon tehokkuutta edelleen, vähentää robotin seisonta-aikaa ja parantaa työntekijöiden turvallisuutta. T-Drillille merkittävin tulos projektista on sen luoma tuotekehityspotentiaali. Sovellus ei suoraan aiheuta tuotannon kasvua, koska se on suunniteltu vain yhdelle tietylle työkalukoolle. Tuotekehityspotentiaali on kuitenkin merkittävä tulos. Järjestelmän toimintaperiaatteen soveltaminen eri muodoissa ja kokoluokissa mahdollistaa myös muiden osien tuotannon automatisoinnin.

Robotin seisonta-aikaan tämä projekti vaikuttaa voimakkaasti, koska tällä hetkellä robotti on jopa 88 % ajasta toimettomana. Tätä ajallista resurssia on nyt tarkoitus alkaa hyödyntämään jäysteenpoistossa. CNC- koneen työstön aikana kappaleeseen syntyy jäystettä, joka on tähän asti poistettu jokaisesta kappaleesta käsin. Kun jäyste saadaan poistettua robotin seisonta-ajan puitteissa, vapautetaan jäystettä käsin poistava työntekijä kokonaan muihin tehtäviin. Robotin seisonta-ajan vähentämisen taloudellinen merkitys on T-Drillille suuri, koska sillä luodaan tuotannolle lisää arvoa.

Työntekijöiden turvallisuuteen projekti vaikuttaa suorasti, koska jäysteenpoisto on tähän saakka tehty käsityökaluilla. Jäyste on CNC koneelta tullessaan hyvin terävää

ja voi poiston yhteydessä aiheuttaa työntekijöiden käsiin haavoja ja naarmuja. Jäysteenpoiston automatisoinnin seurauksena poistuu tarve käsitellä koneistettuja aihioita, kun niissä on vielä terävää jäystettä. Tästä luonnollisesti seuraa käsien haavautumisen riskin poistuminen ja koko työpisteen yleisen turvallisuuden paraneminen. Työntekijöiden turvallisuus on T-Drillille tärkeä asia, jota se pyrkii aktiivisesti parantamaan, muun muassa tämän projektin kaltaisilla toimilla. Tässä projektissa keskitytään kuitenkin sovelluksen tuotannollisiin aspekteihin.

## 1.2 Menetelmät

Tutkimusmenetelminä käytettiin systemaattista tiedonkeruuta, kirjallisuustutkimusta, vastaavien sovelluksien vertailua, asiantuntijoiden konsultointia, 3D CAD -suunnittelua, kenttähavaintoja ja haastattelua.

Tiedonkeruuta suoritettiin pääasiassa internetlähteistä selvitystyövaiheessa, kun tutustuttiin jäysteenpoiston eri menetelmiin ja toimintaperiaatteisiin. Kirjallisuustutkimusta suoritettiin perehtymällä samankaltaisiin opinnäytetöihin ja julkaisuihin, jotka liittyivät joko jäysteenpoistoon tai robotiikan soveltamiseen jäysteenpoistoon.

Vastaavien sovellusten vertailu jäi melko vähäiseksi, koska kaupallisten teknisten ratkaisuiden toimintaperiaatetta varjellaan kilpailusystä tarkasti, mutta vastaavista opinnäytetöistä sai hyvää vertailutietoa toimintaperiaatteista. Muihin robotisointeihin jäysteenpoistosovelluksiin tutustuttiin videoiden avulla. Havaintoja tehtiin sovellusten toimintaperiaatteista ja onnistuneista ratkaisuista.

Kenttähavainnoiden avulla hahmotettiin pääasiassa uuden järjestelmän toimintaympäristöä T-Drillillä. Kenttähavaintojen perusteella pystyttiin päättämään sopiva sijoituspaikka uudelle järjestelmälle sekä järjestelmän orientaation robottisolussa.

Haastattelemalla selvitettiin T-Drillin robottisolun toiminta, käyttötarkoitus, ajankäyttö, sen tuoma koneistamon tehokkuuden muutos ja mihin tällä projektilla pyritään. Haastattelussa selvisi myös projektin turvallisuuteen vaikuttavat tekijät sekä tekniset vaatimuksen sovellukselle sekä uuden sovelluksen tarkka käyttötarkoitus.

Asiantuntijaa konsulttoitiin Teknikum-nimisessä yrityksessä kumi ja polyuretaaniosista. Konsultaatio käsitti yksinkertaisen tuote-esittelyn kumi- ja polyuretaaniosien ominaisuuksista ja sovelluksista, sekä lyhyen tehdaskierroksen. Tehdaskierroksella tutustuttiin polyuretaaniosien valmistusprosessiin, yrityksen yleisiin tuotteisiin ja valmistusmenetelmiin.

3D ohjelmiston avulla suoritettiin toimilaitteen mekaanisen rungon ja osien, sekä iskunvaimentimien valmistusmuottien suunnittelu. Työskentelyssä käytettiin Autodesk Inventor Professional 2015 -opiskelijaversiota.

### **1.3 Osapuolet**

#### **Toimeksiantaja**

Toimeksiantaja tässä projektissa on Laihialainen T-Drill. Yritys valmistaa putki-työkaluja, joilla muovataan metalliputkea erilaisin menetelmin. T-Drillillä on useita toimipisteitä Suomessa ja Yhdysvalloissa. Tuotekehitys, kokoonpano, myynti ja hallinto tapahtuvat Laihialla, koneistus Isossakyrössä. USA:n, Kanadan ja Meksikon myynti ja huolto tapahtuu Atlantassa, Yhdysvalloissa.

#### **Oppilas**

Oppilas tässä projektissa on Juuso Heikinheimo -niminen konetekniikan opiskelija Vaasan ammattikorkeakoulusta. Projekti toimii opiskelijan opinnäytetyönä, jonka suorittaminen on yksi valmistumisvaatimuksista VAMK:in konetekniikan kandidaatin (B. A.) tutkinnosta. Heikinheimon opinnot ovat suuntautuneet pääasiassa koneteknisiin insinööriopintoihin, joihin on liitetty valinnaisena erikoissuuntauksena robotiikka-avusteinen tuotanto. Muita vapaasti valittuja opintoja on suoritettu 3d-tulostuksen ja espanjan kielen saralla.

## **Oppilaitos**

Oppilaitos tämän projektin kontekstissa on Vaasan ammattikorkeakoulu. Vaasan ammattikorkeakoulussa opintojaan suorittaa vuosittain 3300 opiskelijaa, kahdella toista eri opintolinjalla. Vaasan ammattikorkeakoulussa koulutetaan insinöörejä, tradenomeja, sairaanhoitajia, terveydenhoitajia ja sosionomeja. Opintoja voi suorittaa niin kandidaatin (B. A.) tutkinnossa kuin maisterin tutkinnoissakin (M. A.). /4/

Vaasan ammattikorkeakoulun koneteknisen linjan oppilastöitä suoritetaan niin harjoitustöinä kuin opinnäytetöinä. Projektin kontekstissa on oleellista mainita, että ennen opinnäytetyöprojektia, oppilas on ollut osa oppilasryhmää VAMK:issa suoritettavalla harjoitustyö- kurssilla, jolla suunniteltiin ja toteutettiin tämänkin projektin kohteena olevaan robottisoluun tuotekehitystyötä. Oppilastyöllä parannettiin tuotannon automaatiota. Oppilasprojektin onnistumisen ansiosta, T-Drill tarjosi opiskelijalle mahdollisuuden suorittaa opinnäytetyönsä jo tutun aihepiirin yhteydessä.



## 2 SOVELLUSYMPÄRISTÖ

Työhön liittyviä liitännäisiä aiheita ovat robotiikka ja jäysteenpoisto, joita on taustoitettu tässä luvussa.

### 2.1 Robotiikasta

Robotiikka terminä tarkoittaa yleisesti kaikenlaisten robottien kehittämistä, rakentamista ja soveltamista. Tämä siis kattaa miljoonia eri käyttötarkoituksia ja robotityyppejä. Itse termi ”robotti” on johdettu alun perin tsekin kielen sanasta ”robot”, jonka tarkoittaa orjaa./1/ Itse robotin merkitys ei kuitenkaan nykykielessä ole edes rinnastettavissa orjaan, vaan enemmänkin automaattisesti työskentelevään tietokoneohjattuun työkaluun. Käsitteen määritelmä on kuitenkin häilyvä, koska robotiikkaan ei sen alkuaikoina kehittynyt yhtä standardisointitapaa, vaan eri robotiikkaa soveltavat alat standardisoivat omat järjestelmänsä erilaisin kriteerein. Robotti-käsitteellä ei siis ole yleispätevää määritelmää. Tässä työssä robotti on ymmärretty digitaalisesti ohjelmoitavaksi laitteeksi, joka liikkuu ja käyttää siihen kiinnitettyjä tuotannollisia työkaluja autonomisesti ohjelmansa mukaan. Robotti voi käyttää osana ohjelmaansa sensoreilta kerättyä tietoa, jonka perusteella voidaan ohjelmoida reaktio.

Robotiikkaa sovelletaan jatkuvasti uusiin kohteisiin ja käyttötarkoituksiin, joten opinnäytetyön kannalta on oleellista rajata, mitä tässä yhteydessä robotiikalla tarkoitetaan. Projektin kontekstissa robotiikalla viitataan T-Drillin tuotannon automatisoinnissa käytettävään robotiikkaan. Käytännössä tämä viittaa projektissa käytettyyn Fanuc M-710 ic 45M -teollisuusrobottiin, robotin työskentely-ympäristöön, robotin käyttämiin työkaluihin ja niitten kehitystyöhön.

Tämänkaltaisia robottisovelluksia on kuitenkin ollut olemassa jo useita vuosikymmeniä. Ensimmäinen tuotantoteollisuutta palveleva digitaalisesti ohjelmoitava robotti, Unimate, rakennettiin jo vuonna 1954. George Devolin suunnittelema ja Joseph Engelbergerin sittemmin kehittämä Unimate-robotti otettiin vuonna 1961 käyttöön General Motorsilla painevaluprosessissa./3/

Robottiikka on kehittynyt 1950-luvulta huimasti ja teknologinen kehitys robotin osien saralla kuin ohjausjärjestelmissäkin on mahdollistanut nykypäivän rajattomalta tuntuvan robotiikan sovelluskohteiden määrän. Nykyaikaiset robotit kykenevät millimetrien murto-osien tarkkaan liikkeen toistoon ja robotti voidaan nykyään ohjata tekemään noita liikkeitä suoraan tietokoneen 3D-ympäristöön luotuja liikeratoja hyödyntäen. Robottien liikeratoja ja oikeastaan lähes mikä tahansa käyttösovellus voidaan simuloida jo ennen kuin koko robottia on käytetty kertaakaan. Robotin simuloitua toimintaa voidaan tarkkailla vaikkapa tietokoneen näytöltä tai virtuaalitodellisuudessa 3D-animaation avulla, jotta voidaan varmistua toiminnan tarkoituksenmukaisuudesta ennen kalliita sijoituksia.

Henkilökohtaisesti näen, että robotiikan kehitystä on siivittänyt kaikkein eniten tietokoneiden suorituskyvyn voimakas kehitys sekä ohjelmoitsijoiden kyky hyödyntää aikaisempaa kyvykkäämpiä tietokoneita ja soveltaa niitä uusien ohjausjärjestelmien luomisessa.

Voidaan tietysti väittää, että myös robottien osien kehitys on ollut suuri vaikuttava tekijä, mutta samanlaiseen työskentelytarkkuuteen on kyetty mekaanisesti jo ennen ensimmäistäkään teollisuusrobottia. Se miksi ohjausjärjestelmät ovat mielestäni merkittävämpi tekijä robottien kehityksessä, on se, että robotti ei ole aiemmin kyennyt tuottamaan hankalia liikeratoja ilman hyvin monimutkaista ja aikaa vievää matemaattista laskentaa liikeradalle, joihin nykytietokoneet kykenevät reaktiivisesti lukemalla digitaalisesti hahmoteltua liikerataa. Kehittyneet ohjausjärjestelmät mahdollistavat myös sensoridatan liittämisen robotinohjausjärjestelmään. Sensoridataa voidaan hyödyntää itse ohjelmoinnissa työn eri vaiheissa vaikkapa laadunvalvontaan tai muihin tarkastuksiin paikoituksen tai muun ominaisuuden kannalta. Sensoriikkaa voidaan myös kasvavassa määrin käyttää aktiivisina turvajärjestelminä. Sensorien sisääntulotietoa voidaan hyödyntää ohjelmoitaessa robotille reaktioita tiettyihin sensoriärsykkeisiin, jotka eivät esimerkiksi itsessään ole osa robotin tuotanto-ohjelmaa. Tästä esimerkkejä ovat muun muassa paineanturit robotin ulkopinnoilla, jotka tunnistavat törmäyksen tai valoverkot robottien työpisteillä, jotka pysäyttävät robotin liikkeen mikäli verkko aktivoituu.

Mielestäni mekaanisten työkalujen tarkkuus ei yksin vie robotiikkaa vielä pitkälle ilman automaation luovaa ohjausjärjestelmää.

Monimutkaisemmat robottiohjausjärjestelmät tuotantotekniseltä kannalta ovat mahdollistaneet robotin työskentelyliikkeiden suunnittelun kokonaan virtuaalisesti. Tämä on käytännössä mahdollistettu robottivalmistajien omilla ohjelmistoilla, joilla voidaan ohjata robotin liikkeet referoiden 3D-mallien pintaa siten, että parhaimmillaan robotille ei tarvitse ikinä ennen työskentelyä opettaa muuta, kuin itse työohjelma ja missä robotin työohjelman käyttämän koordinaatiston referenssipiste sijaitsee todellisessa maalimassa.

Näen, että robotiikka kulkee kohti autonomisempaa järjestelmää ja käyttäjän helpommin ohjelmoitavissa olevaa robotin toimintaa. Näihin tulee vaikuttamaan vahvasti varsinkin Euroopassa Euroopan unionin suuri panostus robotiikkaan liitettävän tekoälyn kehitykseen./5/

Omassa projektissani ja sen kaltaisten tulevaisuuden projektien kannalta robotiikan autonomiaa ja ohjelmoitavuutta edistävä kehitys tulee helpottamaan uusien työkalujärjestelmien käyttöönottoa toimintojen ohjelmoitavuuden ja työkalun tarkoituksenmukaisen käytön kannalta.

Työkalujen käytön yhteydessä voivat robottien liikeradat olla paikoittain erittäin monimutkaisia, kun robotti ei välttämättä olekaan enää ainoa liikkuva osa järjestelmässä. Tällaisissa tilanteissa on hyödyllistä, kun voidaan tarkastaa robotin toiminta ja mahdollinen vuorovaikutus ympäristön kanssa etukäteen. Näin välttyään turhilta rikkoutumisilta, toiminnan keskeytymiseltä ja pahimmillaan henkilövahingoilta. Työkalujen tarkoituksenmukaisen käytön kannalta ohjausjärjestelmien kehitys voi mahdollistaa vuorovaikutteisemman toiminnan robotille, joka pystyy niin tunnistelemaan ympäristöään, keskustelemaan sitä ympäröivän infrastruktuurin kanssa tehokkaammin, kuin havainnoimaan ja reagoimaan ympäristössä tapahtuviin muutoksiin ja virhetilanteisiin.

## 2.2 Jäysteenpoistosta

Projektin kannalta oleellista on ymmärtää mitä on jäyste, mitä jäysteenpoiston menetelmiä on olemassa ja millaisia työkaluja jäysteenpoistoon käytetään eri menetelmien yhteydessä.

Jäyste on työstettävään kappaleeseen työstön jäljiltä jäänyttä ylimääräistä materiaalia. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi koneistettaessa kappaleen kylkeen jäänyttä terävää ”huulta” tai vaikkapa porauksen yhteydessä poran jättämän ulostuloaukon reunoille ulostaipunutta ”materiaalikruunua”. Kaikissa tapauksissa tarkoitetaan kuitenkin ylimääräistä materiaalia, joka halutaan poistaa. Jäyste pyritään poistamaan turvallisuussyistä ja toiminnallisista syistä. Jäyste voi harata vastaan kokoonpantavissa järjestelmissä. Irrotessaan itseksensä jäyste voi myös jumittaa mekanisme ja heikentää pintakäsittelyiden tuomaa suojaa paljastaessaan käsittelemätöntä materiaalia osan pinnassa. /7,10/

Jäystettä voi muodostua eri materiaaleihin, mutta kaikki jäystettä muodostavat materiaalit ovat suhteellisen sitkeitä ja pehmeitä. Pehmeästä materiaalista voi työstettäessä jäädä kiinni kappaleeseen kappaleen sitkeyden ansiosta jäystettä. Erittäin koviin aineisiin ei muodostu jäystettä, koska materiaalin kovuus saa kappaleen mureneamaan ennen kuin jäystettä ehtii muodostua. Jäysteen muodostumista on hyvin vaikeaa ennakoida, koska jäyste saattaa muodostua täysin samoissa olosuhteissa kahteen samanlaiseen kappaleeseen eri tavoilla. /7,10/

Jäysteenpoisto on käytännössä jaettu kahteen osa-alueeseen: manuaaliseen- ja robotisoituun jäysteenpoistoon. Manuaalinen jäysteenpoisto tarkoittaa joko käsityökaluilla tai ulkoisella voimanlähteellä käyvillä käsityökaluilla suoritettua jäysteenpoistoa. Robotisoitu jäysteenpoisto tarkoittaa prosessia, jossa käytetään robottia jäysteen poistamiseen. Tämä voi tapahtua kolmella eri tavalla. Robotilla voidaan liikuttaa jäysteenpoistotyökalua työstettävää kappaletta vasten, kuten manuaalisessa jäysteenpoistossa. Toinen tapa on liikuttaa työstettävää kappaletta jäysteenpoistotyökalua vasten. Kolmas vaihtoehto on poistaa jäyste liikuttamalla kappaletta ja jäysteenpoistotyökalua kahdella eri robotilla toisiaan vasten. Viimeisin näistä

kolmesta on kallein, mutta myös optimaalisin keino järjestelmän joustavuuden ja uudelleenkäytettävyyden kannalta./7/

Manuaalisessa jäysteenpoistossa on se etu, että työn jälkeen on helppo valvoa ja työstö on helppo tehdä kunkin yksittäisen kappaleen vaatimalla tavalla. Manuaalisen jäysteenpoiston heikkouksia ovat työn hitaus, työntekijän inhimilliset rajoitteet kuten väsymys ja keskittymiskyvyn vaihtelu sekä vaaratekijät työntekijälle. Kun kappaleita pitää käsitellä täysin eri tavoilla toisiinsa verrattuna, jäysteen profiilista riippuen, työskentely hidastuu huomattavasti ja vaatii jatkuvaa tarkkaavaisuutta työntekijältä.

Robotisoitu jäysteenpoisto vapauttaa työvoimaa ja sen työn laatu on tasaista. Menetelmä on nopea ja robotti voi työskennellä kellon ympäri tauoitta. Robotisoidun toiminnan haasteita ovat kuitenkin laadun valvonta ja ongelmatilanteisiin reagointi. Robotti on loppujen lopuksi ”tyhmä” laite, joka ei osaa analysoida työnsä jälkeen ilman erityistä sensoriikkaa. Virhetilanteessa robotilla ei ole kykyä havaita ongelmaa tai logiikkaa ratkaista niitä itsenäisesti ja luotettavasti. Tämä pätee niin jäysteenpoistossa, kuin muussakin robotisoidussa tuotannossa.

Jäysteenpoistossa käytetään monia eri työkaluja ja menetelmiä. Seuraavassa on luetteloitu jäysteenpoiston menetelmät erityyppisille jäysteille. Näitä menetelmiä sovelletaan tietysti myös erikoissovelluksissa vapaammin.

Hiomatyökaluilla kuten hiekkapaperilla, hiomakivillä ja hiomaporilla poistetaan pääasiassa jäystettä kappaleisen pinnasta ja kulmista, hiomalla ylimääräinen jäyste pois materiaalista. Pääasiassa siis kohteista joihin on helppo päästä tehokkailla, vaikkakin vähän kömpelömmillä menetelmillä./7/

Jyrsimillä poistetaan pääasiallisesti suuria jäysteitä, jotka kuluttaisivat esimerkiksi viilaustyökalut piloille välittömästi. Jyrsimellä tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi CNC koneen jyrsintätyökalua, sorvia tai vastaavaa työkalua. /7/

Jäystettä voidaan poistaa myös siihen erityisesti soveltuvilla jäysteenpoistouuneilla. Jäysteenpoistouunin toimintaperiaate perustuu jäysteen poistoon polttamalla.

Käytännössä tämä tapahtuu noin 3000 celciusasteen lämpötilassa, joka saavutetaan polttamalla kaasua ja kiihdyttämällä paloreaktiota hapen avulla. /7,11/

Raepuhalluksella voidaan poistaa pienempiä jäysteitä, jotka irtoavat kappaleesta rakeiden iskun voimasta. Raepuhallin kiihdyttää jäystävät rakeet paineilman avulla ja raepuhallus soveltuu vain kohteisiin, joiden pinta tai käsiteltävät kohteet ovat tarpeeksi kestäviä ottamaan vastaan raeryöpyn rikkoutumatta tai kohteissa, joissa pinnan laatu ei ole niin suuri tekijä. /7/

Tulevaisuudessa jäysteenpoiston robotisoidut sovellukset voivat kehittyä muun muassa sensorikehityksen myötä, joka mahdollistaa robottien havaita uusia ongelmia ja tehdä robotisoidusta tuotannosta tarkempaa, yksinkertaisempaa ja virtaviivaisempaa. Tällainen sensorikehitys kuitenkin vaatii, että joku kehittää uusia sensoreita tiettyjä käyttötarkoituksia varten. Sensoriikka tuskin tulee kehittymään ilman kaupallisia sovelluksia uusille sensoreille.

Robotisoitu jäysteenpoisto voi ottaa kehitysaskelaita myös tuotannollisten tekoälysovellusten kehittyessä. Uudet kehittyneemmät tekoälysovellukset jäysteenpoistoroboteilla voivat mahdollistaa yksilöllisemmän jäysteentunnistuksen, poistomenetelmän valinnan ja ongelmatilanteisiin reagoinnin autonomisesti. Tekoälysovellukset voivat myös virtaviivaistaa järjestelmien ohjelmointia.

### 3 LÄHTÖTILANNE

#### 3.1 Robottisolu ja sen oheislaitteet

T-Drillin Isonkyrön toimipisteen robottisolun tehtävä on toimia koneistusasemana. Robotiikkaa on sovellettu koneistusaseman yhteydessä muodostamalla koneistuslaitteen ympärille robottisolu, joka toimii raaka-aineen syöttöjärjestelmänä ja keräilyjärjestelmänä koneistetuille osille, jotka siirtyvät muualle seuraavia tuotannon vaiheita varten.



**Kuvio 1.** Robottisolu.

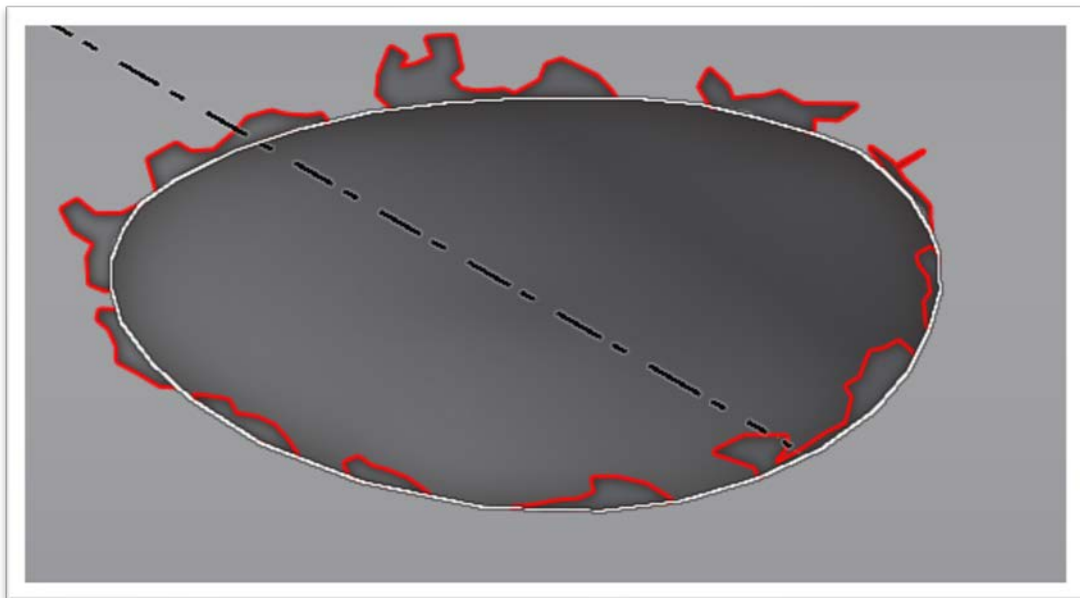
Keskellä robottisolua sijaitsee solua palveleva Fanuc teollisuusrobotti (Kuvio 1.). Solun perällä on solun Mazak CNC -koneistusjärjestelmä. Robotin oikealla puolella on robotin otteenvaihtopöytä, johon on kiinnitetty pneumaattinen otteenvaihtojigi. Robotin edessä on koneistettavasta osasta riippuen lavoille aseteltuja erilaisia raaka-aine-aihoita, jotka ovat valmiita robotin tunnistetaviksi ja poimittaviksi. Robottisolun ulkopuolella on sen toimintaa ohjaava tietokone. Sen ohjelmilla käytetään solussa sijaitsevaa robottia, CNC konetta ja otteenvaihtojigiä. Laitteiden

yhteistoiminta on siis ohjelmoitu ohjausjärjestelmään, joka luo näistä samaan tilaan asetetuista työkaluista robotisoidun koneistusaseman, eli robottisolun.

Solun nykyinen työkierto sisältää raaka-ainelavojen lastauksen soluun, aihoiden siirron robotilla CNC koneelle, CNC koneen työkierron, koneistetun kappaleen kääntämisen CNC koneessa robotilla, CNC koneen toisen työkierron ja valmiin kappaleen siirtämisen CNC koneelta keräilyastiaan robotilla. Valmiille kappaleille suoritetaan myös manuaalinen jäysteenpoisto joko työasemalla joka sijaitsee robottisolun vieressä, tai erillisellä jäysteenpoistoasemalla, missä on käytössä pneumaattinen hiomatyökalu.

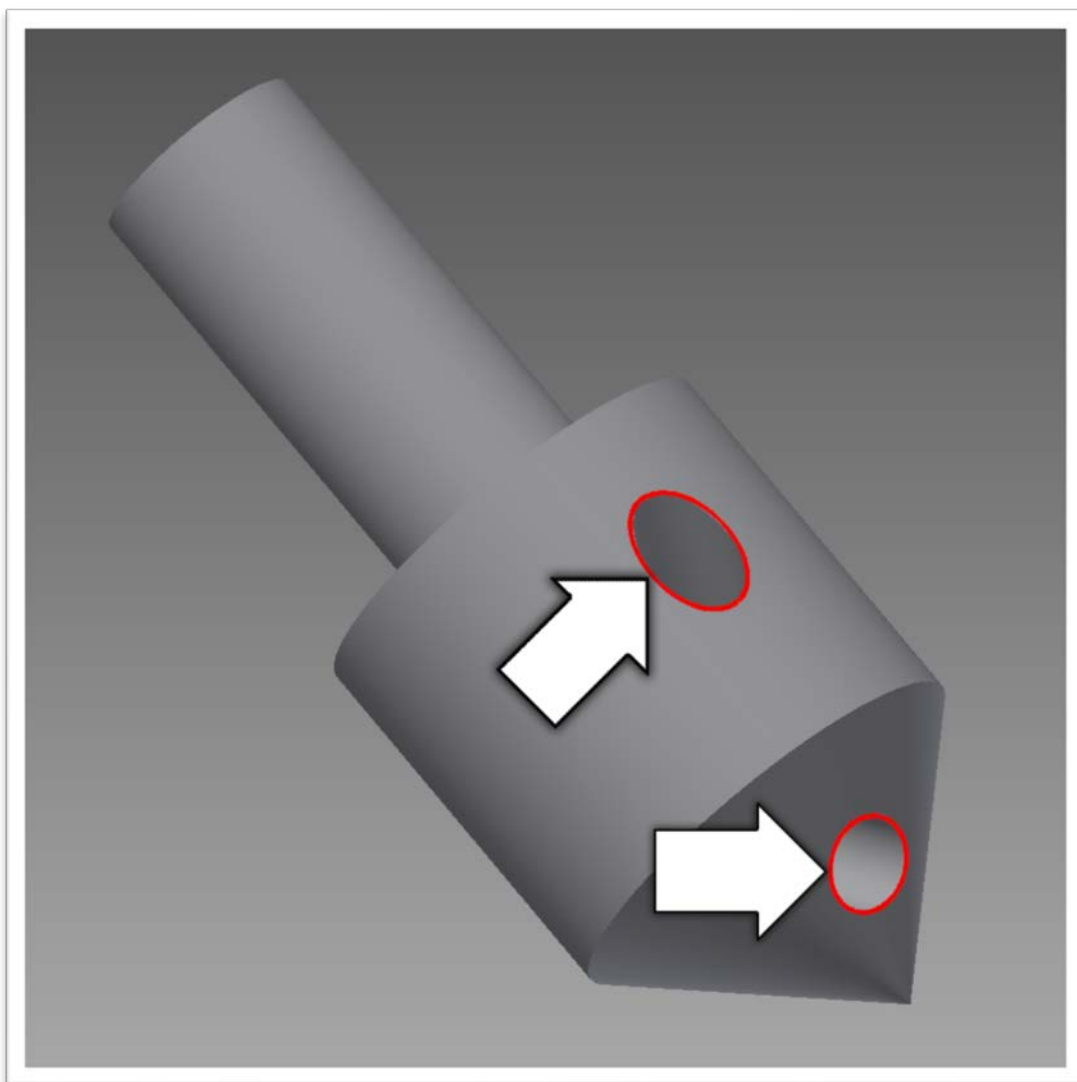
### 3.2 Jäysteenpoisto

Ennen projektia jäyste poistettiin työstettävistä kappaleista käsin. Jäysteenpoistoon käytettiin pneumaattista hiomatyökalua, joka oli kiinnitetty ruuvipenkkiin. Työntekijä hioi jäysteen käsin liikuttelemalla työstettävää kappaletta hiomatyökalun pyörivää hiomakiveä vasten. Jäystettä poistettiin työstettäviin kappaleisiin porattujen reikien suuaukoista. Suuaukkoihin muodostuu pääasiassa ulos työntyvä huulimainen sisäänmenojäyste ja kruunumainen ulostulojäyste porauksen seurauksena. /10/ Kuvissa jäyste on korostettu punaisella värillä.



**Kuvio 2.** Esimerkki jäysteestä ja sen sijainnista.





**Kuvio 3.** Esimerkki putkityökalusta ja jäysteen sijainnista kappaleessa

### **3.2 Projektissa sovellettava jäysteenpoiston menetelmä**

Projektissa sovelletaan jäysteenpoistomenetelmää, jossa robotilla liikutellaan työstettävää kappaletta jäysteenpoistotyökalua vasten ja poistetaan jäyste kappaleen pinnasta. Kyseisessä menetelmässä käytetään pneumaattisella voimanolähteellä toimivaa hiomatyökalua, jossa on työkalupaikalla vaihtopiste erilaisille hiomakärjille. Tämä menetelmä ja työkalu valittiin noudattaen tavoitteeksi asetetun yksinkertaisuuden perusteella. Näin saavutettaisiin haluttu tulos mahdollisimman pienillä muutoksilla robottisoluun ja olemassa olevaan koneistamon infrastruktuuriin.

Sovelluksen, jossa työkalu on kiinteä osa robottisolun kalustoa eikä liiku työstön aikana, vahvuuksia ovat järjestelmän tarkkuus, tukevuus ja suhteellisen helppo huollettavuus verrattuna järjestelmään, jossa on paljon liikkuvia ja potentiaalisesti rikkoutuvia osia. Lisäksi sen vahvuutena on suhteellisen helppo suunniteltavuus verrattuna sovelluksiin, joissa olisi enemmän osia tai liikkuvia komponentteja.

Järjestelmän tarkkuus perustuu muutamaan tekijään. Tarkkuutta lisää työkalun kiinteä sijoittelu robotin tarkan työskentelykyvyn alueelle, robotin liikkeentoistotarkkuus ja liikkuvien osien minimaalinen määrä sekä työkalujärjestelmän yksinkertainen ja itsestään aloitusasentoon palautuva mekaniikka.

Työkalun tukevuuteen vaikuttavat työkalun ankkurointipiste robottisolun lattiaan, kiinnitystapa ja kiinnityspisteen jäykkyys. Ankkurointipisteen sijainti lattiassa antaa kiinnityspisteelle jäykän perustan. Työkalun kiinnitystapa lattiaan yhden jäykän telineen avulla pulteilla takaa järjestelmän oikean ja liikkumattoman sijoittelun. Sen ansiosta robotti, joka ei kykene analysoimaan työkalun liikettä, voi viedä työstettävän kappaleen varmemmin oikeaan työkalupisteeseen. Robotin liikkeentoistotarkkuus vaihtelee robotin asennon mukaan. Kun työkalu sijoitetaan tarpeeksi lähelle robottia, jotta robotin ei tarvitse taistella suurissa momenteissa oman vartensa painoa vastaan. Kun työkalu sijoitetaan tarpeeksi kauas rungosta, robotti ei joudu hankaliin ääriasentoihin, ja se pystyy suoriutumaan tehtävästään hyvin suurella liikkeentoistotarkkuudella. Tämä on erityisen tärkeää kun työstetään pieniä osia, joissa on pieniä jäysteitä. Järjestelmän ainoa liikkuva osa on robotti. Kun sen liike voidaan toistaa suurella tarkkuudella joka kerta, liikkuvista osista koostuva epätarkkuus saadaan tuotannolliselta näkökannalta eliminoidua lähes kokonaan. Järjestelmän tarkkuuteen vaikuttaa myös työkalun oma mekaaninen ominaisuus palautua takaisin aloitusasentoon itsestään, jolloin virheasunnoista tai niihin juuttumisesta aiheutuvat ongelmat vähenevät.

Järjestelmää, jossa on vain vähän kulumia ja liikkuvia osia, on helpompi huoltaa. Ilman ulkoisia vaikuttajia, jäysteenpoistojärjestelmä menee harvemmin epäkuntoon. Suunnitteluvaiheessa piti kiinnittää huomiota osien kulumiseen ja liikkuvuuteen. Mekaniikan tuli olla sellainen, että osat on helppo vaihtaa, järjestelmä on

helppo huoltaa ja ylläpitää. Kun liikkuvia osia on vähemmän, myös vaihdettavien osien määrä vähenee. Tästä syystä toimintavarmuus kasvaa.

Järjestelmän suunniteltavuuteen vaikuttavat kaikki yllämainitut seikat, vähäisestä osien lukumäärästä ja liikkuvista osista helppoon huollettavuuteen sekä yksinkertaisesta kiinnitystavasta tarkasti liikettä toistavaan robottiin. Kun nämä ominaisuudet oli asetettu tavoitteiksi, suunnitteluprosessista tuli virtaviivaisempi. Kun selkeä tavoite ja toimintaa rajoittavat tekijät olivat tiedossa, oli ratkaisua helpompi hahmotella.

### **3.3 Jäysteenpoistoversiokssessa käytettävä robotiikka**

Projektin suunnittelun alkuvaiheessa, kun solun tarkoitus, komponentit ja toiminta oli selvitetty haastattelun ja vierailun avulla, päätettiin yhdessä T-Drillin kanssa, että suunnitellaan jäysteenpoistojärjestelmä, joka on mahdollisimman yksinkertainen. Yksinkertaisuutta pidettiin tärkeänä näistä neljästä syystä: toiminnallisuus, toimintavarmuus, jatkokehityspotentiaali ja hinta. Yksinkertaisuus tässä yhteydessä tarkoitti sovellusta, joka on toimintaperiaatteeltaan niin yksinkertainen, että yritys ei joudu tekemään suuria investointeja sen toteuttamiseksi, kuten esimerkiksi hankkimaan toista teollisuusrobottia tai suunnittelemaan järjestelmälle kokonaan omaa solua.

Toiminnallista yksinkertaisuutta tavoiteltiin keskittymällä yhden tuotteen käsittelyyn, jotta mekaniikan osien määrä voitiin minimoida. Tällaista järjestelmää on lähtökohtaisesti helppo huoltaa sekä soveltaa uutta tuotetta varten. Näin suunniteltu järjestelmä on vähemmän altis toimintavirheille.

Ylläpitoa saatiin yksinkertaistettua suunnittelemalla järjestelmään osa, joka kuluu eniten ennen mitään muuta osaa, näin minimoiden riskiä kalliille korjauskuluille ja helpottaen ylläpitoa logistisesti, kun tiedetään mikä osa järjestelmässä pitää vaihtaa ensin uuteen, toimivuuden takaamiseksi. Tähän saatiin inspiraatio Eugen Stonerin Armalite 15 -kiväärin kaasujärjestelmästä, jossa aseenn suunnittelija tarkoituksella alimitoitti aseenn kaasujärjestelmän putkistoa aseessa liikkuvalla ruutikaasun

määrälle siten, että kaasuputki olisi ensimmäinen osa, joka rikkoutuisi aseesta, jos asetta käytettäisiin jatkuvasti liian kuumana./2/ Tätä konseptia hyödyntäen, jäysteenpoistojärjestelmän kulumapisteiksi suunniteltiin polyuretaanista valetut iskunvaimentimet ja kyky vaihtaa hiomakärki uuteen. Näin oli tarkoitus välttyä kalliiden osien teettämisläpän hienomekaniikkapajoissa ja käyttää hinnaltaan kilpailukykyisiä massatuotettuja artikkeleita.

Yksinkertainen järjestelmä lisää toimintavarmuutta. Ensinnäkin se sisältää vähemmän rikkoutuvia osia, mikä vähentää järjestelmän toiminnan epävarmuutta. Varmatoimisuudella viitataan tässä yhteydessä myös työn jälkeen. Kuten aiemmin on mainittu, jäysteen muodostumista on hyvin vaikea ennakoida ja siksi järjestelmän, jolla jäystettä poistetaan, tulee olla joko kykenevä havaitsemaan jäyste ja toimimaan tarkoituksenmukaisella tavalla jokaisen kappaleen kohdalla tai poistamaan kaikki erilainen jäyste hyväksyttävällä tarkkuudella, jäysteenpoiston jäljet työstettävään kappaleeseen minimoiden. Jäysteen määrää havainnoiva järjestelmä todettiin hyvin monimutkaiseksi ja potentiaalisesti hyvin kalliiksi, mistä syystä päätettiin suunnitella yleispätevä jäysteenpoistojärjestelmä. Tällaisten järjestelmien yhteinen tekijä lähes kaikissa verrokisovelluksissa, oli järjestelmän työkaluakseliin luotu radiaalinen ja aksiaalinen jousto. Suunnitteluvaiheessa varmatoimista yksinkertaisuutta siis määrittä tasaisen ja luotettavan joustomenetelmän löytäminen ja soveltaminen.

Jotta järjestelmällä olisi jatkokehityspotentiaalia, se tuli suunnitella yksinkertaiseksi. Silloin jatkokehityksen haaste ei muodostuisi järjestelmän omista rajoitteista. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että suunnittelussa tuli ottaa huomioon työkalun helppo sovellettavuus erilaisilla ja kokoisilla hiomakärjillä. Tähän löytyi ratkaisu suoraan Isonkyron koneistamolta, jossa aiemmin käsin tehty jäysteenpoisto oli suoritettu pneumaattisella käsityökalulla. Kyseinen pneumaattinen käsityökalu oli järjestelmän voimanlähteeksi tutkitusti toimiva, koska sitä käytettiin jo kyseiseen tehtävään samalla pajalla ja sen jälki oli hyväksyttävää. Kyseistä työkalua lähötkohtana käyttäen suunniteltiin iskunvaimenninjärjestelmä, joka kykenee ottamaan vastaan työstöstä aiheutuvat voimat, näin suojaten työkalua vaurioilta. Mekaanisesti järjestelmä on hyvin yksinkertainen. Lisäksi järjestelmään voidaan sijoittaa samanlaisia, tehokkaampia pneumaattisia hiontayksiköitä tai vaikkapa skaalata

järjestelmää suurempaan tai pienempään, ilman että toimintaperiaate muuttuu merkittävästi. Näin järjestelmää on suunnitelmallisesti helppo soveltaa muihin käyttökohteisiin.

Hinnan puolesta järjestelmä on edullinen T-Drillille, koska suunnittelu suoritettiin opiskelijatyönä, joka sisälsi viikoittaiset konsultoinnit opiskelijan kanssa työn etenemisestä ja kehityksestä. Materiaalikustannuksia järjestelmälle tulee muutamista järjestelmän ohjaukseen liittyvistä osista, mutta työkalujärjestelmään tarvittavat osat löytyvät tarvittaessa suoraan Isonkyrön koneistamon materiaalivarastosta ja jäysteenpoistopisteestä. Osat tulee tietysti koneistaa, mikä vie hetken yrityksen omien koneistajien aikaa. Koska kyseessä on sisäinen kehityshanke, kokonaiskustannus on hyvin pieni suhteessa potentiaaliseen hyötyyn. Teknikum lupautui valmistamaan järjestelmän prototyypin iskunvaimentimet ilmaiseksi, avustaakseen opinnäytetyössä. Täten tuotteen prototyypin testaukseen tarvittiin ulkoisena hankintana, robottisolua ohjaavaa järjestelmää varten, sähköohjattava paineilmaventtiili, jotta järjestelmän paineenohjaus voidaan automatisoida osaksi robottisolun toimintaa.

## 4 SUUNNITELMA

### 4.1 Konseptointi

Konseptointi aloitettiin selvittämällä jäysteenpoistosovelluksen tekniset vaatimukset ja T-Drillin omat toivomukset järjestelmälle. Nämä tiedot saatiin haastatteleamalla projektiin osallistuvia T-Drillin työntekijöitä Isonkyrön toimipisteessä. Haastatteluun käytettiin itse laadittua haastattelupohjaa (Liite 1.) ja muutamia kenttähaastattelujen tuomia kysymyksiä. Haastattelupohjan kysymykset laadittiin siten, että saatiin kerättyä kaikki työkalun suunnitteluun tarvittava tieto. Kysymykset koskivat robotin toiminnan kuvausta, robotin ajankäyttöä, työskentelyn tehokkuutta ja robotin vaikutuksia tehokkuuteen, robotin käyttötarkoitusta, turvallisuutta ja projektiin suunniteltavan sovelluksen vaatimuksia. Näiden kategorioiden avulla oli helppo jäsentää kerätty tieto suunnittelua hyödyntäviksi kokonaisuuksiksi. Haastattelu dokumentoitiin äänitallenteena ja haastattelun aikana tehtiin muistiinpanoja.

Haastattelussa päällimmäiseksi suunnitteluhaasteeksi tunnistettiin työkalujärjestelmän jouston tuottaminen. Tätä ongelmaa pyrittiin suunnittelussa lähestymään mahdollisimman monesta näkökulmasta, hyödyntäen useita teknologioita erisuuntaisten joustojen luomiseksi. Konseptoinnissa keskityttiin joustoa tuottavien järjestelmien toimintaperiaatteiden hahmotteluun ja toiminnallisten mittojen ja ulottuvuuk-sien määrittely siirrettiin suunnittelun myöhempään vaiheeseen.

Konseptiesittelyissä viitataan toistuvasti järjestelmän osiin, jotka on selitetty alla ja visualisoitu kuviossa 4.

### **Työkaluakseli (Z)**

Tällä viitataan akseliin, joka kulkee työkalun läpi pituussuunnassa ja jonka ympäri työkalun kärki pyörii. Selitekuvassa tämä on osoitettu keltaisella värillä.

### **Työkalu**

Työkalulla viitataan itse hiomatyökaluun ja sen hiomakärjen muodostamaan kokonaisuuteen. Selitekuvassa tämä on osoitettu vihreällä värillä.

### **Työkalun työstökärki tai hiomakärki**

Tällä viitataan itse hiomatyön tekevään hiomakärkeen työkalun yläpäässä. Selitekuvassa tämä on osoitettu oranssilla värillä.

### **Radiaalinen jousto (X ja Y)**

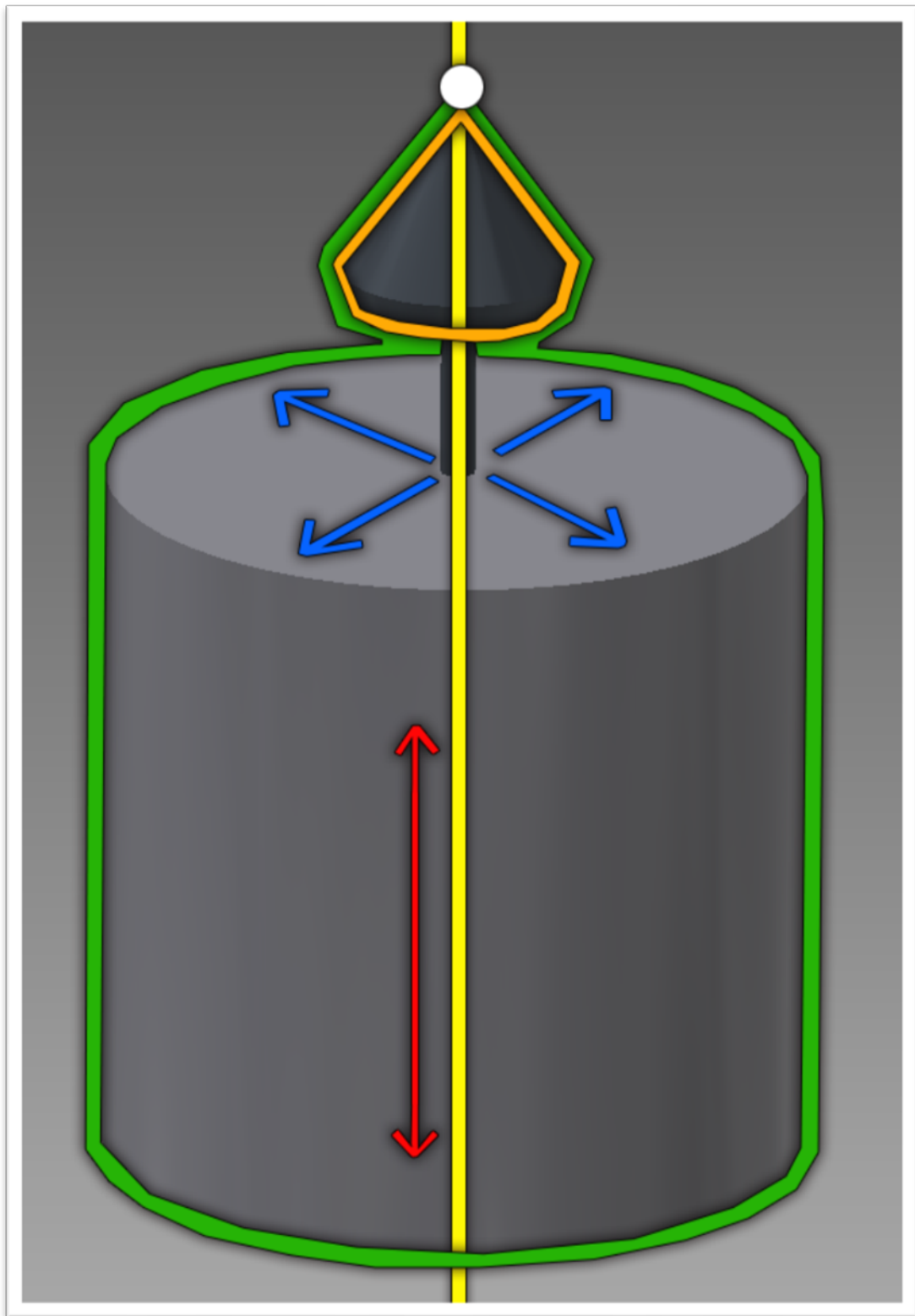
Tällä viitataan järjestelmässä tapahtuvaan joustoon, joka tapahtuu säteittäisesti ulospäin työkaluakselista. Selitekuvassa tämä on osoitettu sinisellä värillä.

### **Aksiaalinen jousto (Z)**

Tällä viitataan järjestelmässä tapahtuvaan joustoon, joka tapahtuu työkaluakselin suuntaisesti. Selitekuvassa tämä on osoitettu punaisella värillä.

### **Nollapiste tai nolla-asento**

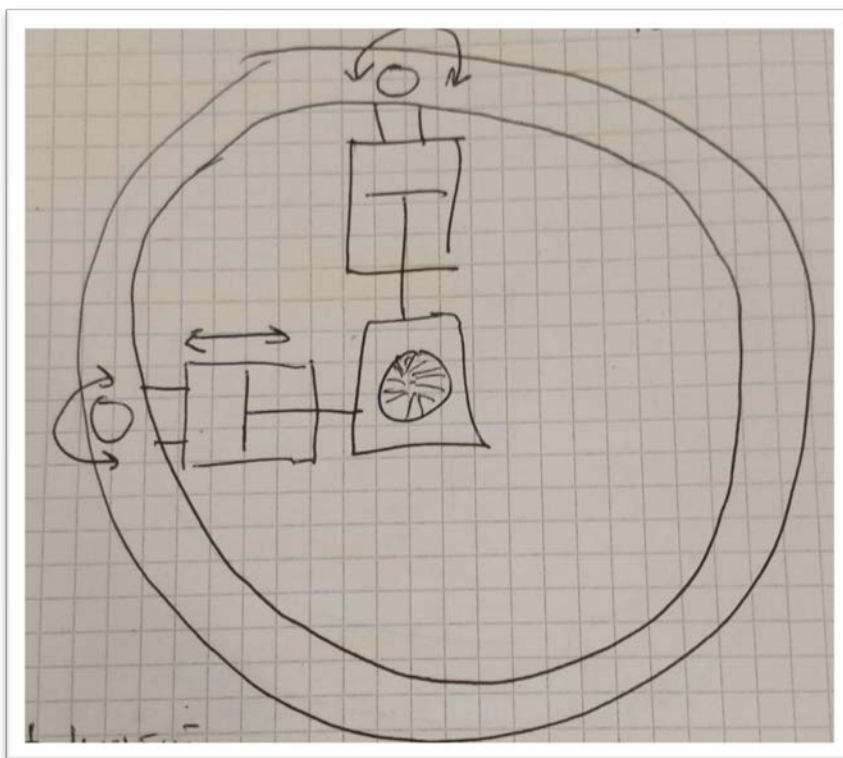
Nollapisteellä tai nolla-asennolla tarkoitetaan työkalun asemointia, jossa työkalun kärki on täysin keskellä sen liikkuma-aluetta eikä työkalu kuormita mitään joustinta minkäänlaisella voimalla. Selitekuvassa tämä on osoitettu valkoisella värillä.



**Kuvio 4.** Tämä kuvio havainnollistaa konseptoinnissa käytettyjä termejä ja järjestelmän osia.



#### 4.1.1 Konsepti 1 - Paineilmasyylinterillä ja rungolla toteutettu jousto



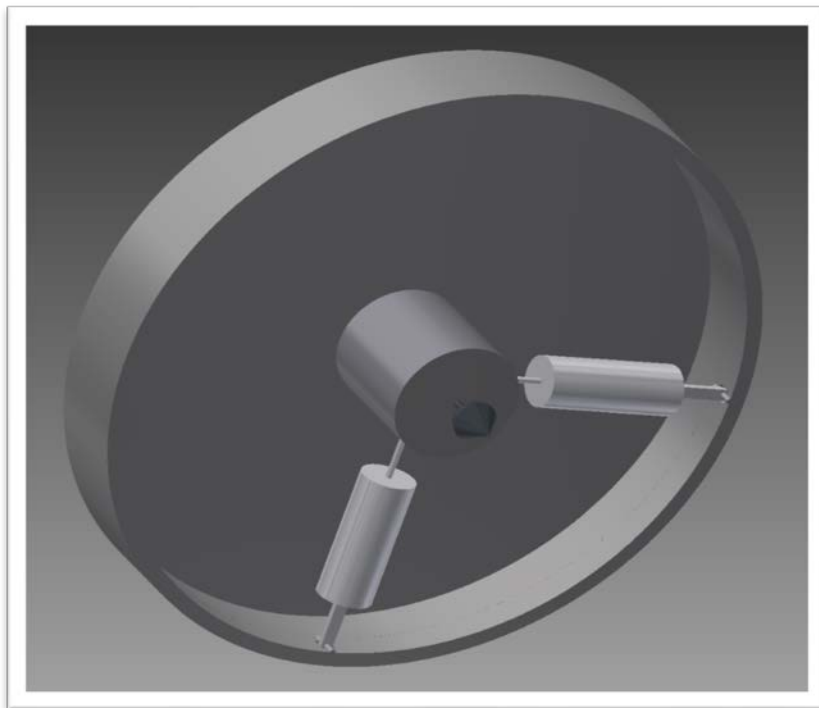
**Kuvio 5.** Konseptin 1. hahmottelupiirustus.

Konseptissa 1. pyrittiin soveltamaan kahteen suuntaan liikutettavia paineilmasyylinteriä luomaan työkalulle kolmeakselinen jousto. Konseptin pääidea perustui työkalun kiinnittämiseen erilliseen kehään kahdella saranoidulla paineilmasyylinterillä, jotka antavat työkalulle radiaalisen jouston, sekä kehän perälevyyn kiinnitettyyn kolmanteen paineilmasyylinteriin, joka tuottaa aksiaalisen jouston. Kehässä kiinnitetyn aksiaalisen jouston tuottava paineilmasyylinteri toimii ankkuripisteenä koko järjestelmälle. Työkalu ei siten kosketa suoraan runkona toimivaan kehään, vaan kaikki työkaluun kohdistuvat voimat työstön aikana johtuvat paineilmasyylinterien kautta järjestelmän kiinnityspisteeseen.

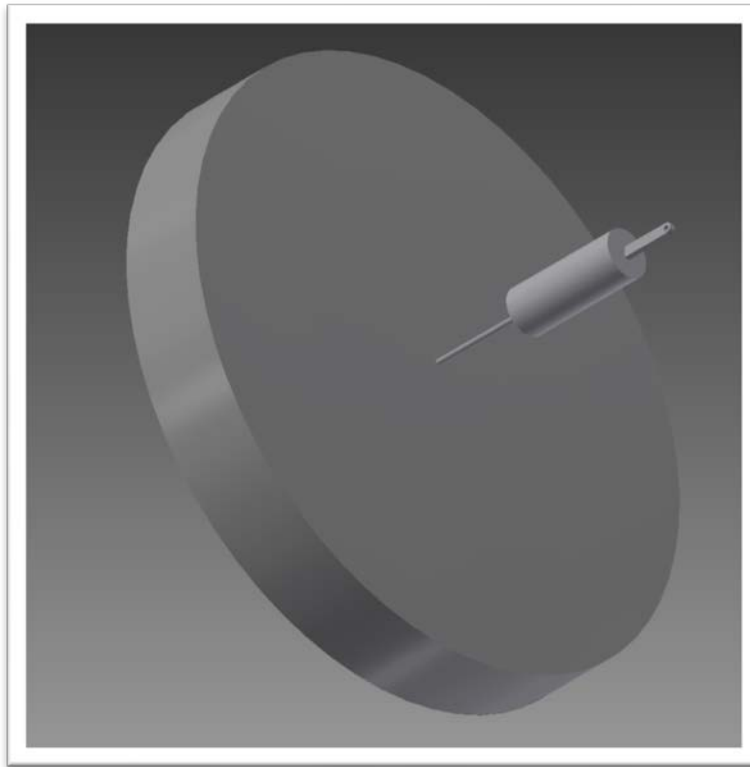
Idean vahvuuden ajateltiin olevan järjestelmän kyky palauttaa työkalu aina takaisin lähtöpisteeseen hyvin pienellä virhemarginaalilla sijoittelussa. Tämä oletus perustui ajatukseen siitä, että kahteen suuntaan liikkuva paineilmasyylinteri on helppo paikottaa nollakohtaan johtamalla sylinterin kumpaankin puoliskoon sama paine

ohjausjärjestelmän avulla. Kun paineen määrä lasketaan tarpeeksi alhaiseksi, sylinteristä saadaan irti hyvinkin pieniä vastuksia, mikäli työstö vaatii pieniä voimia.

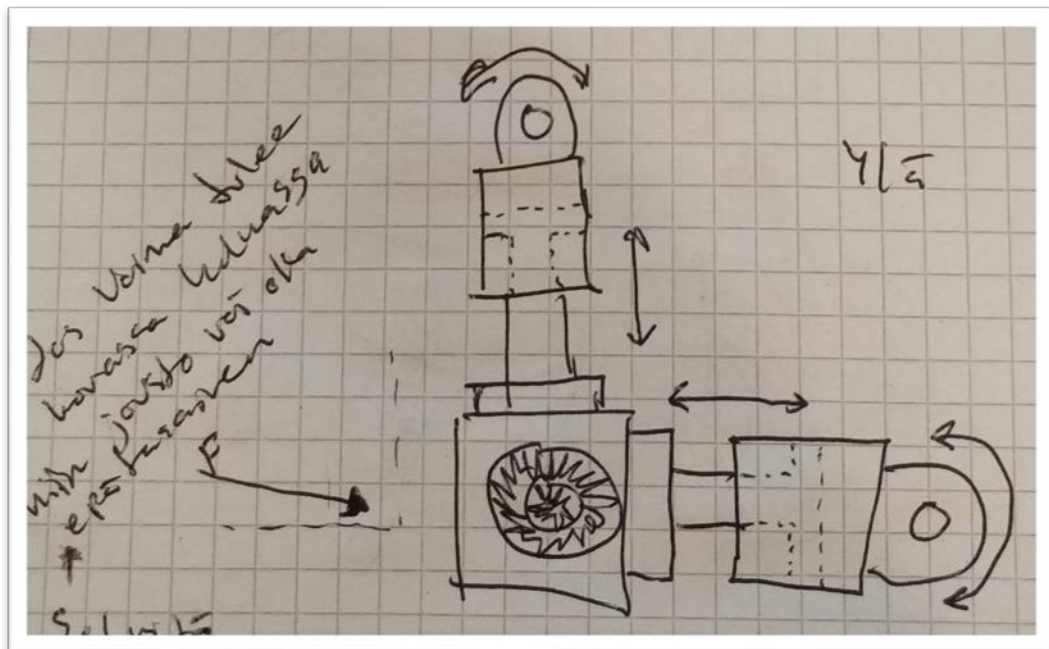
Idean heikkouksina pidettiin sen mekaanista monimutkaisuutta, järjestelmän jouston voiman suunnasta riippuvaa epätasaisuutta, ja rikkoutumisherkkyyttä jos tarpeeksi tukevia ja paineilmasylintereitä ei löydy. Rikkoutumisherkkyyys oli tämän konseptin kohdalla todellinen huolenaihe, koska käytännössä jokaiseen sylinteriin järjestelmässä kohdistuu voimia niiden oman työakselin suunnassa sekä vääntömomenttina sivuttain, kun työkalu kohtaa kahden tai useamman akselin suuntaisia voimia työstön aikana. Järjestelmän mekaaninen monimutkaisuus miellettiin heikkoudeksi, koska järjestelmä altistuu jatkuvasti irtoavalle metallijäysteelle. Tämä jäyste voi haitata järjestelmän mekaniikkaa jumittamalla sitä tai jopa haitata huoltoa jumittamalla vaihdettavia osia paikoilleen. Järjestelmän jouston epätasaisuudesta käydyn keskustelun perusteella todettiin, että hyvin suurella todennäköisyydellä järjestelmään hyvin jyrkässä kulmassa joustoakseleihin kohdistuva voima voi aiheuttaa epätasaista joustoa työkalulle. Epätasainen jousto voi helposti johtaa epätasaiseen työn jälkeen työstettävässä kappaleessa.



**Kuvio 6.** Konseptin 1. 3D-malli edestä.

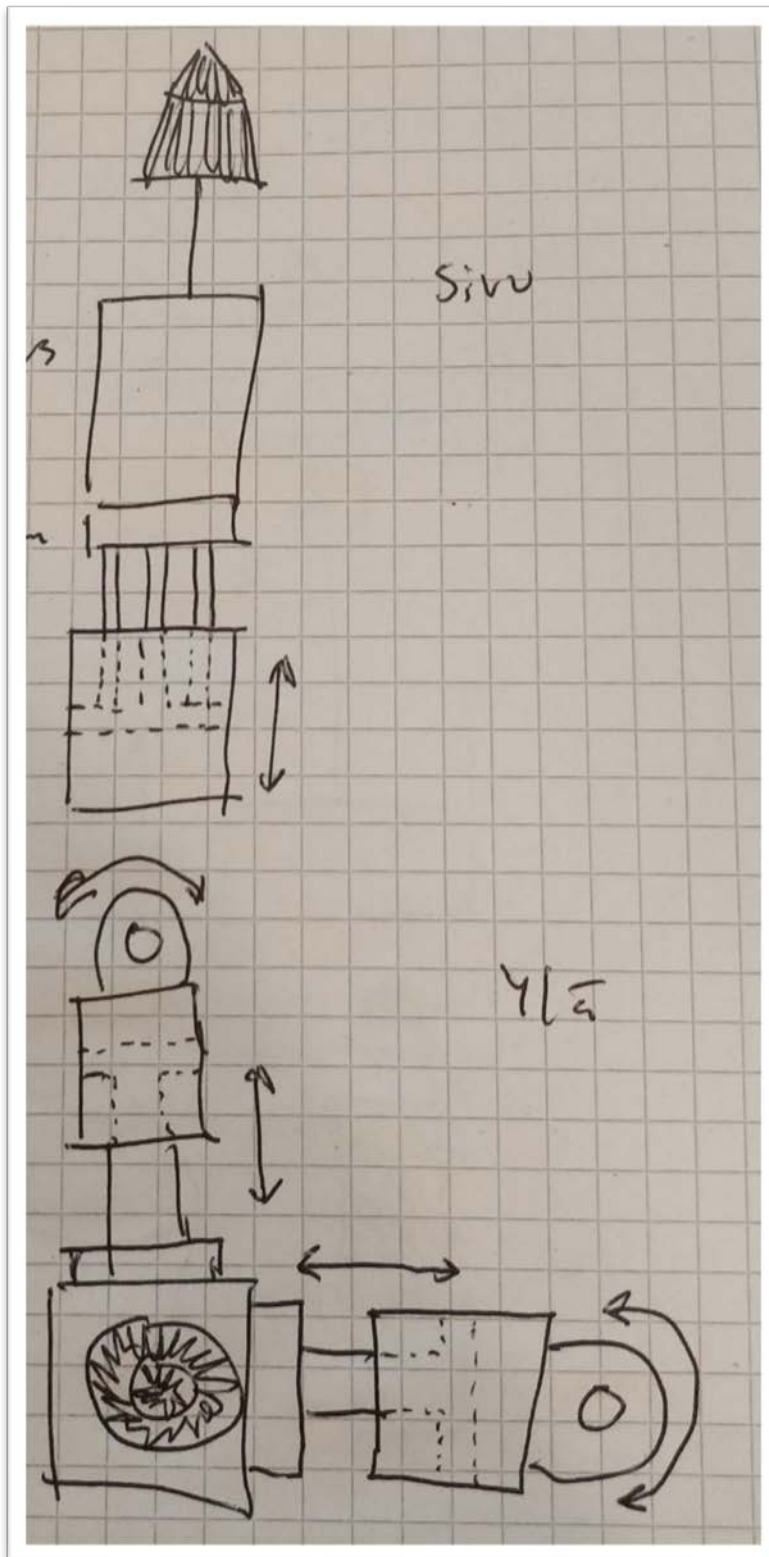


**Kuvio 7.** Konseptin 1. 3D-malli takaa.

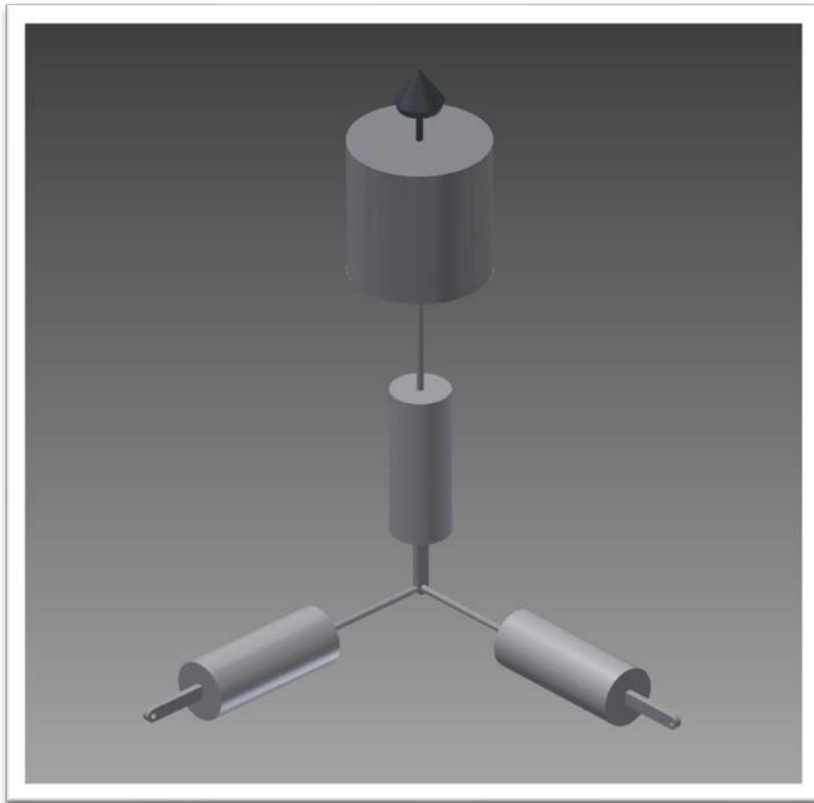


**Kuvio 8.** Hahmoteltu esimerkki voiman jyrkästä kulmasta.

#### 4.1.2 Konsepti 2 – Vain paineilmasylintereillä toteutettu jousto



**Kuvio 9.** Konseptin 2. hahmottelupiirustus.



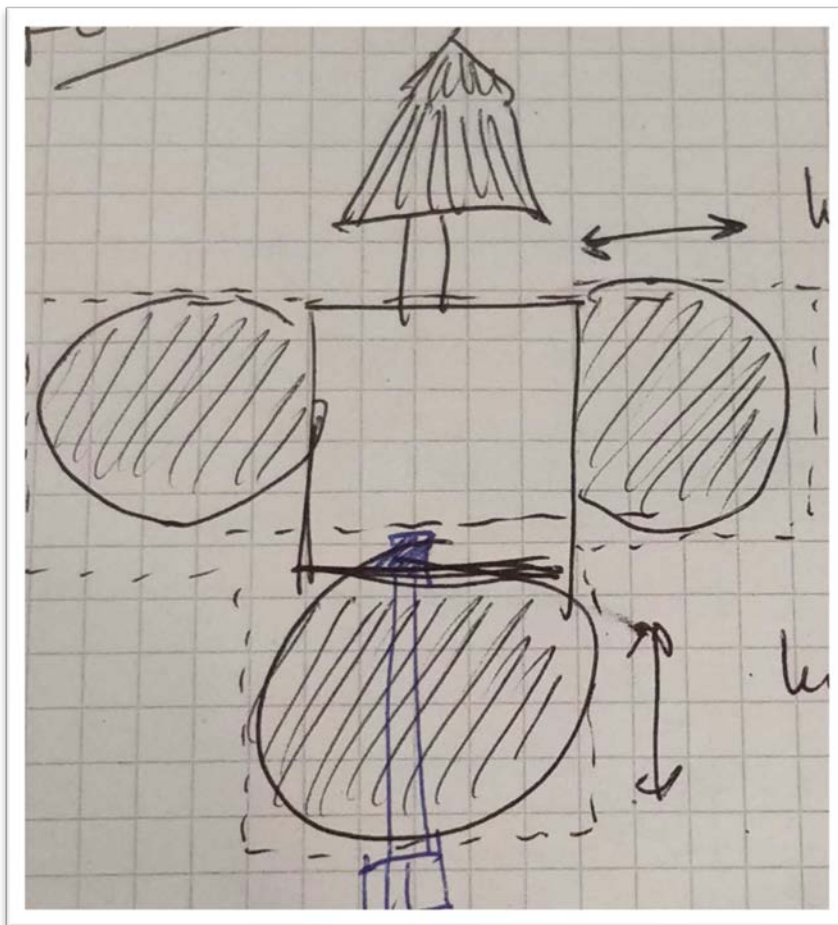
**Kuvio 10.** Konseptin 2. 3D-malli.

Tämä konsepti oli oikeastaan eräänlainen variaatio 1. konseptista, jossa pyrittiin karsimaan järjestelmän mekaanista monimutkaisuutta. Rakennetta pyrittiin yksinkertaistamaan kytkemällä kaikki paineilmasylinterit kiinni toisiinsa ja kiinnittämään järjestelmä kiinteään pisteeseen robottisolussa. Näin välttyttiin suunnittelemasta runkoa, joka on tälle sovellukselle turha.

Järjestelmän vahvuudeksi pitkälti samat ominaisuudet kuin konseptissa 1. Ainoa parannus edelliseen oli, ettei konsepti 2. tarvitse erillistä runkoa toimiakseen, vaan järjestelmä kiinnitettäisiin suoraan telineeseen.

Heikkouksien todettiin olevankäytännössä samat kuin konseptissa 1. Tässä konseptissa voimat, jotka kohdistuvat paineilmasylintereihin, voivat olla suurempia, koska välistä on poistettu yksi voimaa virhetilanteessa vastaanottava osa välistä.

#### 4.1.3 Konsepti 3 – Joustavalla materiaalilla toteutettu jousto



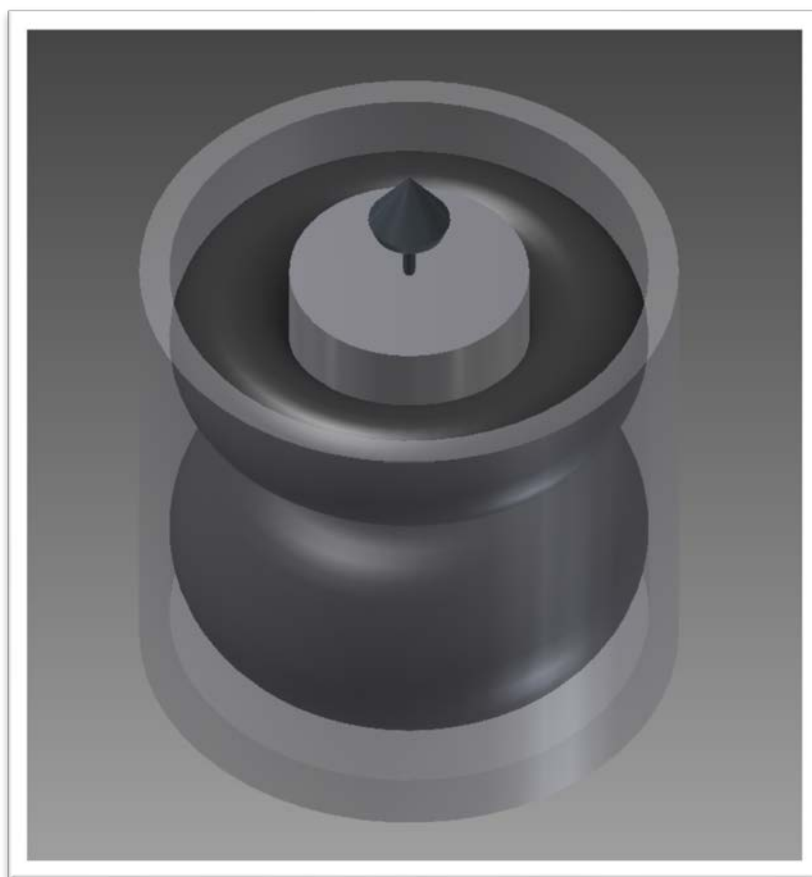
**Kuvio 11.** Konseptin 3. hahmottelupiirustus.

Konseptin 3. jouston päätoimintaperiaate perustuu työkalun ympärille sijoitetun kimmoisan materiaalin ominaisuuksiin. Työkalun ympärille sijoitettu rengas antaa työkalulle sen radiaalisen jouston ja työkalun pohjalla lepäävä tyyny luo työkalulle sen aksiaalisen jouston. Materiaali voi olla joko luonnostaan kimmoisaa tai osien kimmoisuus voidaan luoda käyttämällä onttoja osia, joissa on sisällä jatkuva paine. Se yhdistettynä kimmoisan materiaalin taipumiseen antaa työkalulle tehokkaan jouston.

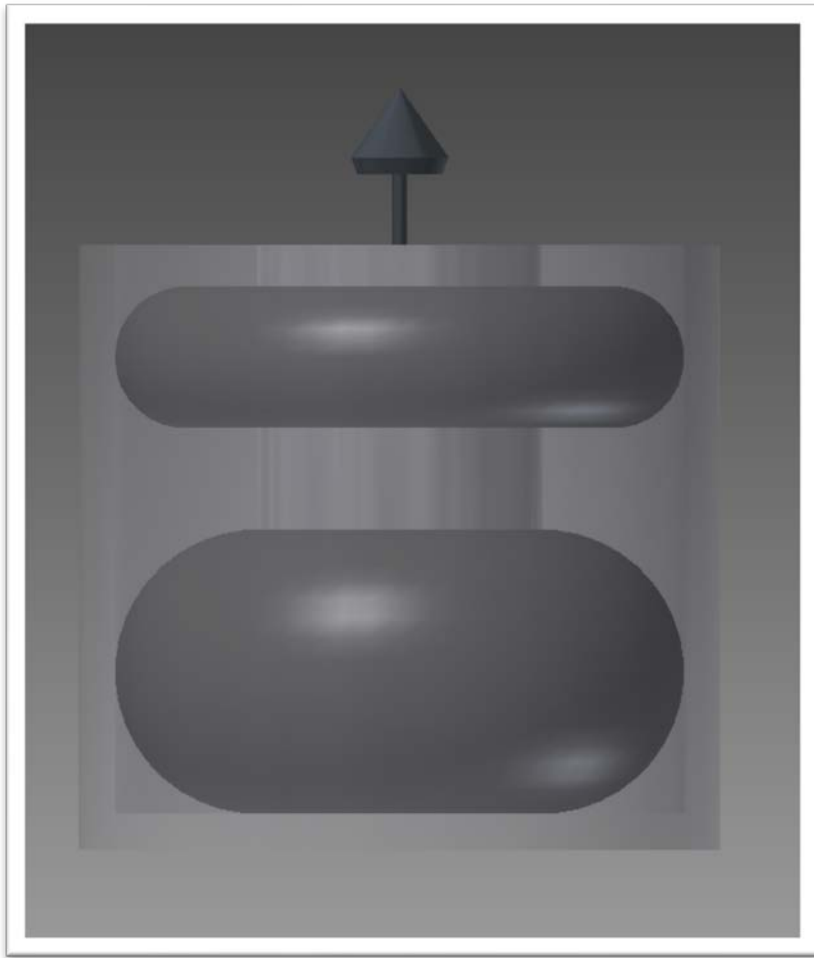
Tämän järjestelmän vahvuuksia ovat sen yksinkertaisuus, hinta ja tasainen jousto voimien suunnasta huolimatta. Yksinkertaisuus ilmenee lähinnä siten, että itse järjestelmässä ei ole liikkuvia osia, vaan kaikki tapahtuva jousto on seurausta

materiaalin omasta kimmoisuudesta ja kyvystä palata alkuperäiseen muotoonsa. Tällaiset osat ovat materiaalikustannuksiltaan edullisia. Tasaisesti työkalun ympärille ja alle sijoitettu materiaali luo työkalulle voimien suunnista huolimatta hyvin tasaisen jouston.

Kiinteästä aineesta luodun joustimen heikkouksia tässä sovelluksessa ajateltiin olevan altistuminen metallijätteelle, jota jäystäessä syntyy ja jäystämisen tuottama lämpö järjestelmässä, joka on käytännössä verhoiltu hyvin lämpöä eristävällä materiaalilla. Metallijätteen tuoma kulutus voi pahimmillaan aiheuttaa pehmeissä osissa rikkoutumia ja osia joudutaan uusimaan suhteellisen usein kulumien aiheuttaman epätasaisen jouston ja huonon nollapisteesen palautumisen takia. Lämpöä pidettiin heikkoutena sen tuoman uhan takia.



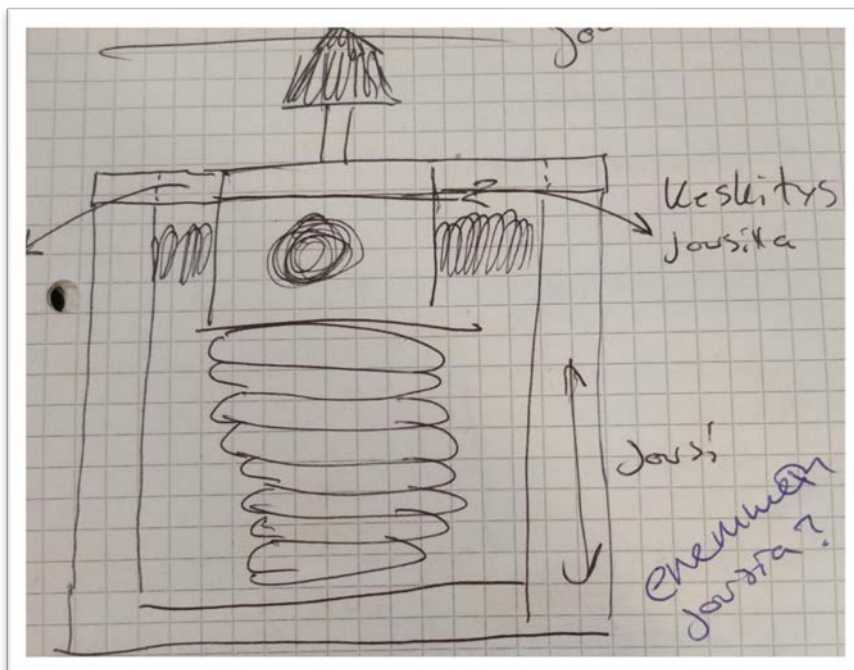
**Kuvio 12.** Konseptin 3. 3D-malli yläviistosta.



**Kuvio 13.** Konseptin 3. 3D-malli sivusta.



#### 4.1.4 Konsepti 4 – Jousilla toteutettu jousto



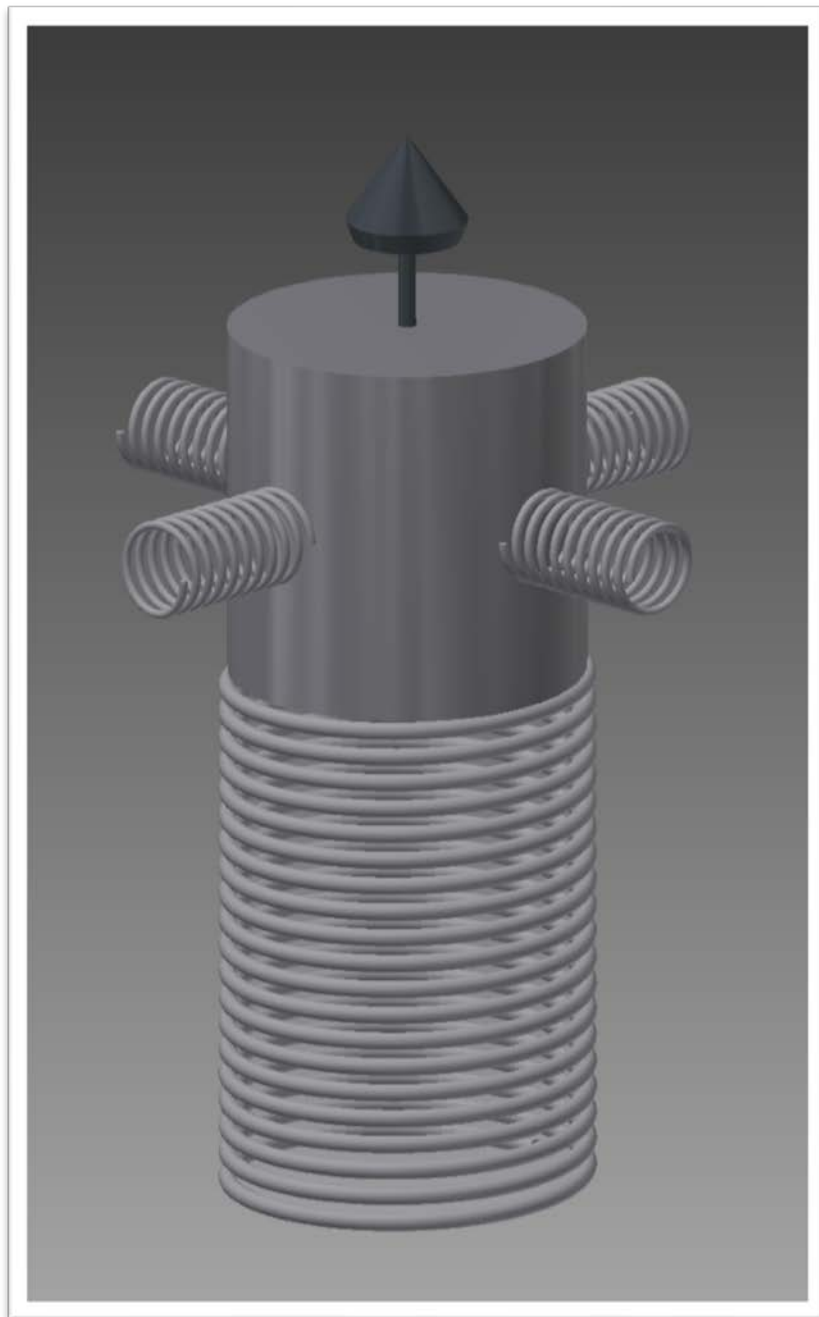
**Kuvio 14.** Konseptin 4. hahmottelupiirustus.

Konseptin toiminta perustuu viiden tai useamman jousen tuoman jouston toimintaan. Työkalun ympärille sijoitetut jouset luovat radiaalisen jouston. Työkalun pohjaan kiinnitetty jousi luo työkalulle aksiaalisen jouston. Jouset toimivat joustimina omien työakseliensa suunnassa ja sivuttaisen kuormituksen jälkeen ne auttavat toisiaan nollapisteeseen palautumisessa.

Jousiin perustuvan järjestelmän vahvuuksia ovat hinta, huollettavuus, yksinkertainen rakenne ja kohtuullisen tasainen jousto voiman suunnasta huolimatta. Jouset ovat halpoja ja niitä on valmiiksi saatavilla tuhansia erilaisia, joten itse järjestelmän huolto vikatilanteessa ei tuo huomattavia kuluja. Huollettavuus on myös suhteellisen helppoa, kun varaosia on saatavilla ja osien vaihto on vaivatonta yksinkertaiseen järjestelmään. Järjestelmän yksinkertainen mekaniikka tekee konseptista myös houkuttelevan vaihtoehdon suunniteltavuuden kannalta. Voimien suunnasta ei muodostu ongelmaa jouston tasaisuuden kannalta, koska jousia voidaan sijoittaa

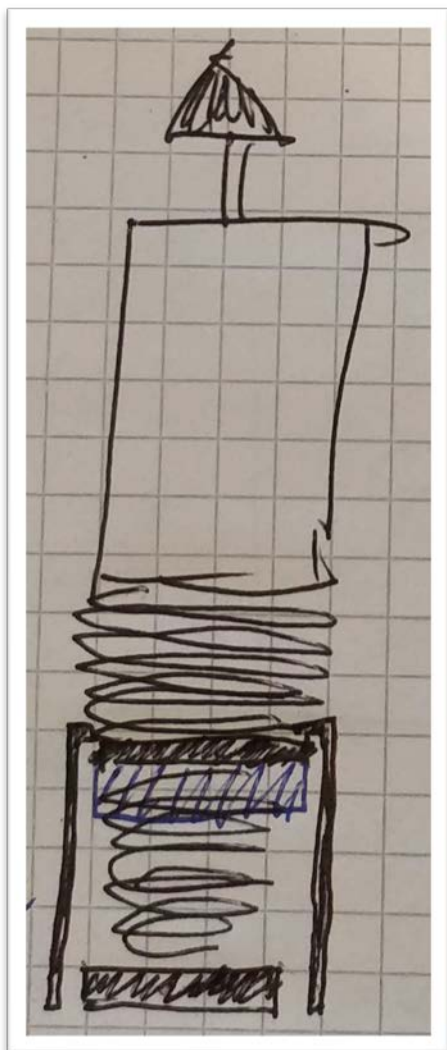
työkalun ympärille useita. Mitä enemmän jousia sijoitetaan työkalun ympärille, sitä tasaisemmaksi jouston voima muuttuu.

Jousijärjestelmän heikkouksiksi arvioitiin olevan nollapisteeseen palautuminen, jousien kuoleentuminen ja jyrkyyden puute. Nollapisteeseen palautuminen voi olla melko hidasta jousien värähtelyn takia. Värähtely voi jatkua pitkäänkin työstökosketuksen jälkeen, kun jouset pyrkisivät palautumaan lepotilaan ollessaan yhteydessä moneen jouseen, jotka pyrkivät samaan. Jousien kuoleentumisesta voi myös muodostua ongelma, kun robotti tekee samoja jousia vasten tuhansia ja tuhansia toistoja. Kun rasitetaan vain osaa jousista, jouset kuoleentuvat epätasaisesti ja nollapisteeseen paluu sekä joustovoiman tasaisuus kärsivät. Jousien varassa lepäävä työkalu on huterä ja se voi aiheuttaa ennalta arvaamattomia ongelmia järjestelmän kuormittamisessa.



**Kuvio 15.** Konseptin 4. 3D-malli yläviistosta.

#### 4.1.5 Konsepti 5 – Kaksiosaisella jousella toteutettu jousto



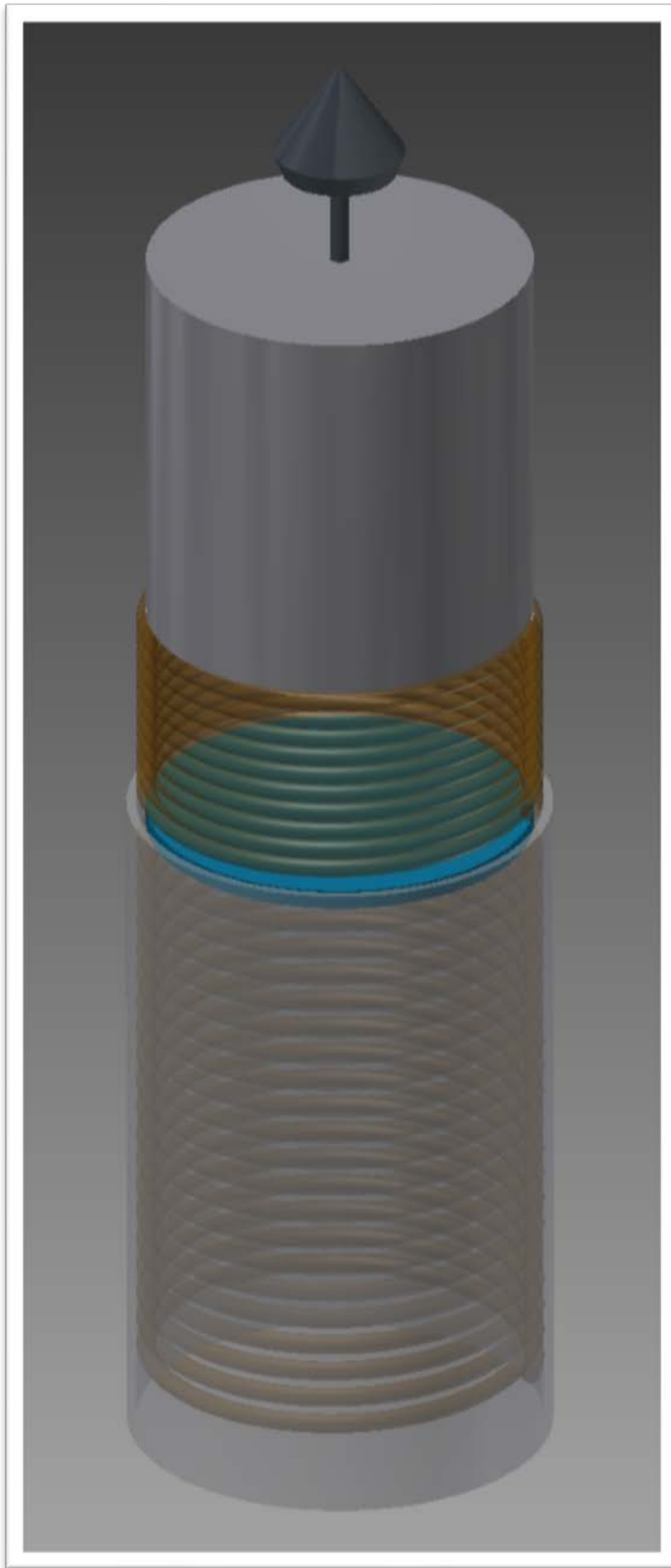
**Kuvio 16.** Konseptin 5. hahmottelupiirustus.

Konseptissa 5. kaksiosaisella jousella tuotettu jousto perustuu yksittäisen jousen kahden eri kiertymistiheiden luomiin ominaisuuksiin. Jousi luo radiaalisen jouston tiheällä osuudella taipumalla sivuttaisiin ja aksiaalisen jouston painumalla kasaan pituussuunnassa. Jousten ominaisuuksia avustamaan alemman jousen ympärillä on putki ja jousien väliin sijoitetaan ohjuri. Putki pitää huolta siitä, että aksiaalinen jousto liikkuu vain yhteen suuntaan, antamatta harvemman kiertymätiheyden jouselle mahdollisuutta taipua sivusuunnassa. Jousien välinen ohjuri on vankina putken sisäpuolella siten, ettei aksiaalisen jouston luova jousi pääse vapaaksi. Ohjuri

toimii samalla geometriansa ansiosta sivuttain taipumattomana pohjana radiaalista joustoa tuottavalle jouselle.

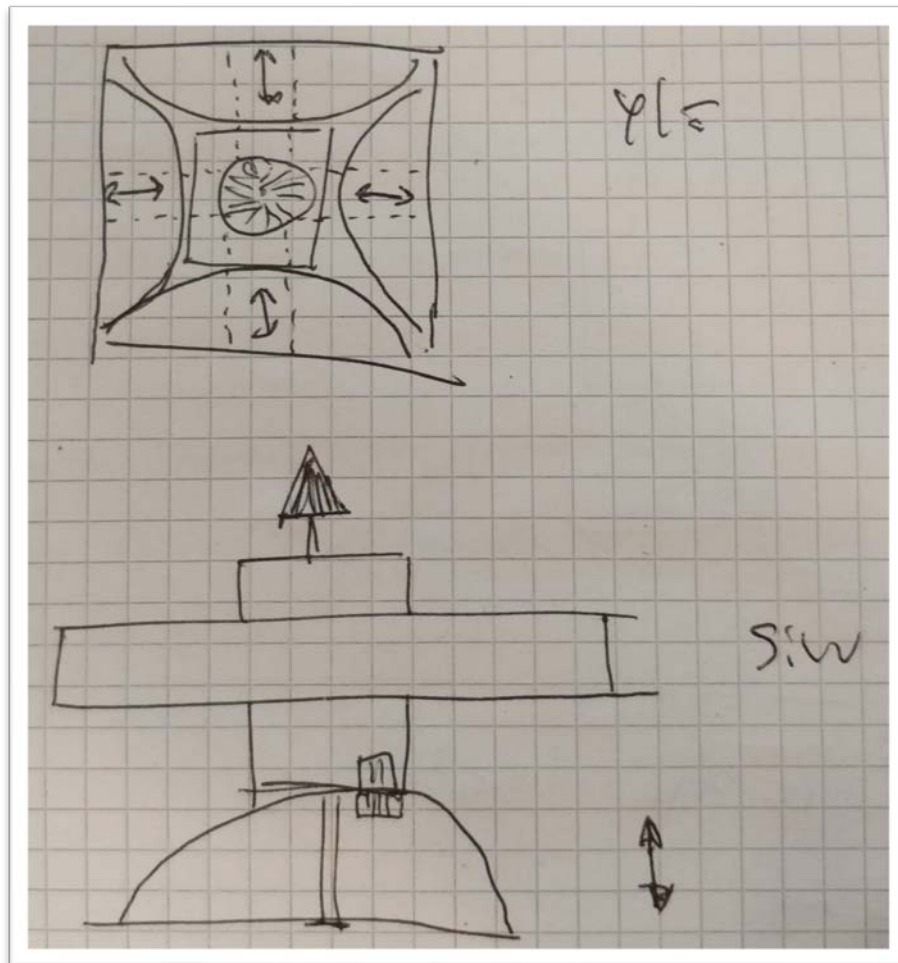
Jousijärjestelmän vahvuuksia ovat sen mekaaninen yksinkertaisuus, hinta ja helppo ylläpito. Mekaaninen yksinkertaisuus muodostuu pääasiassa yksinkertaisten komponenttien summasta, jossa on hyvin vähän rikkoutuvaa tai jumiutuvaa ilman ulkoisia häiriötekijöitä. Järjestelmä on jousien saatavuuden takia myös halpa valmistaa ja sitä on helppo huoltaa varaosien saatavuuden takia. Toiminnallisesti joustot on tuotettu hyvin yksinkertaisilla menetelmillä, joiden joustovoimat ovat laskettavissa kohtuullisella täsmällisyydellä.

Järjestelmän heikkouksiksi sen osittaisen avoimen rakenteen ja mekaniikkaan kohdistuvien voimien aiheuttaman kiilautumisongelman. Järjestelmän päällimmäinen jousi joka luo radiaalisen jouston on altis ulkoiselle lialle ja muille vaikuttajille, jotka saattavat ajan mittaan aiheuttaa työkalun palautumisessa nollapisteeseen virheitä. Järjestelmän putkessa liikkuva, jousien välissä sijaitseva välikappale saattaa radiaalisen ja aksiaalisen kuormituksen aikana kiilautua putkeen ja estää työkalun palautumisen nolla-asentoon ilman ulkoista apua. Samankaltaisessa tilanteessa myös ylemmän jousen liike saattaa rajoittua, jos alempi jousi painuu niin alas, että radiaalisen jouston tuottava jousi joutuu työskentelemään putken sisällä.



**Kuvio 17.** Konseptin 5. 3D-malli yläviistosta.

#### 4.1.6 Konsepti 6 – Lehtijousilla toteutettu jousto

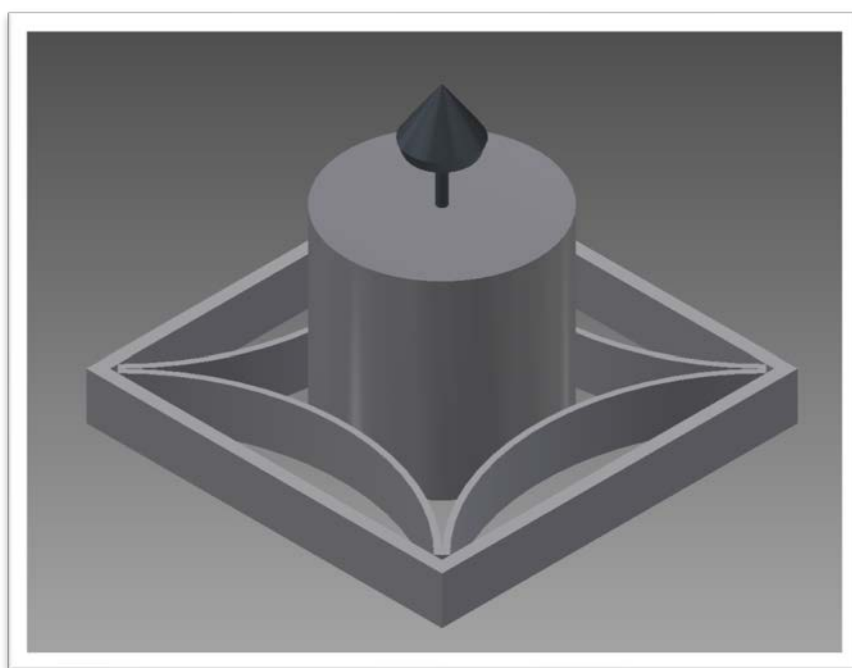


**Kuvio 18.** Konseptin 6. hahmottelupiirustus.

Konseptissa 6. radiaalinen jousto saadaan aikaan lehtijousilla. Järjestelmä voi levätä jonkun aiemman konseptin aksiaalisen tuottaman mekaniikan tai viidennen lehtijousen päällä.

Järjestelmän vahvuuksia ovat sen kiistaton kestävyys, hyvä nollapisteesen paluuvarmuus ja tarkkuus, jyrkkyys ja suhteellisen halpa hinta. Jouset vangitsevan rungon tulee olla melko kestävä, mistä seuraa koko järjestelmän yleisen kestävyiden kasvu. Ratkaisu on hyvä törmäystilanteissa robotin kanssa. Tässä konseptissa työkalu palautuu takaisin nollapisteeseen tehokkaasti ja tarkasti jousien muodon ansiosta. Joustavasta materiaalista luodut lehtijouset ovat suhteellisen halpoja tuottaa, vaikka ne valmistettaisiin taipuisasta metallista.

Lehtijousikonseptin heikkouksina pidettiin joustovoiman epätasaisuutta, jäykkyyttä ja kulmikkuutta. Epätasainen joustovoima johtuu lehtijousien väliin jäävän heikomin joustavasta alueesta, jossa työkalu pyrkii työntymään kahden jousen väliin, jossa jouston määrä on paljon pienempi, kun työkalu joutuu taistelemaan kahta joustaa vastaan jousien optimaalisen joustoalueen ulkopuolella. Järjestelmän jäykkyys voi myös muodostua ongelmaksi, jos jousiin ei voida tuottaa tarpeeksi pientä joustovastusta niin, että jouset koskettavat työkalua nolla-asennossa. Järjestelmän kulmikkuus on heikkous terävien kulmien tuomien turvallisuusriskien takia.



**Kuvio 19.** Konseptin 6. 3D-malli yläviistosta.



## 4.2 Konseptien karsinta

Konseptien karsintaprosessi suoritettiin yhteyshenkilön kanssa internetin ja puhelimen välityksellä. Internetin kautta tehty konseptiesittely tapahtui reaaliaikaisen ryhmäsuunnittelusivusto twiddla:n avulla. Sivuston avulla käyttäjät pystyvät näyttämään toisilleen kuvia ja tekemään niihin merkintöjä, jotka muut käyttäjät näkevät välittömästi. Yhdistämällä internettyökalu ja puhelu, karsintaprosessi oli varsin kivuton ja selkeä toteuttaa.

Konseptien karsinta aloitettiin esittelemällä kaikki konseptivaihtoehdot T-Drillin edustajalle yksityiskohtaisesti ja käymällä läpi niitten ominaisuudet, vahvuudet ja heikkoudet. Hyvin nopeasti alkoi muodostua kuva ongelmista, jotka vaikuttivat lähes kaikkiin konsepteihin samalla tavalla ja muodostivat ratkaisevat tekijät päätösprosessissa. Tässä vaiheessa ongelmia pidettiin toiminnallisuutta rajoittavia ja toimintavarmuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Näitä olivat joustovoiman tasaisuus voiman suunnasta huolimatta, joustoa tuottavien osien toimintavarmuus, järjestelmän ylläpidettävyyys ja huollettavuus. Kriteerejä soveltaen konsepteja alettiin karsia.

Vaikka konsepti 1. vaikutti toteutettavalta, päätettiin se karsia jouston epätasaisuuden takia. Samasta syystä karsittiin myös konsepti 2. , koska näillä kahdella konseptilla ei ollut suurta merkittävää eroa keskenään. Konsepti 3. vaikutti alkuun T-Drillin edustajan mielestä lupaavalta, koska se tarjosi muihin konsepteihin verrattuna tasaista joustoa joka suuntaan. Sitä ei kuitenkaan valittu heti toteutettavaksi konseptiksi, koska jäyste voisi irrotessaan joutua työkalun ja joustimen väliin ja kuluttaa pehmeän materiaalin nopeasti pilalle. Konseptia 4. pidettiin vaihtoehtona hyvä tovi sen tuoman jouston tasaisuuden ja ratkaisun alhaisen hinnan perusteella. Tämä konsepti oli selvä kilpailija edelliselle konseptille. Konseptia 5. pidettiin myös mahdollisena, mutta se karsittiin nopeasti osien jumiutumisvaaran takia. Konsepti 6. tyrmättiin välittömästi sen todettujen heikkouksien takia. Konsepteja 3. ja 4. verrattiin vielä uudelleen, jolloin päädyttiin toteuttamaan konsepti 3. , koska se

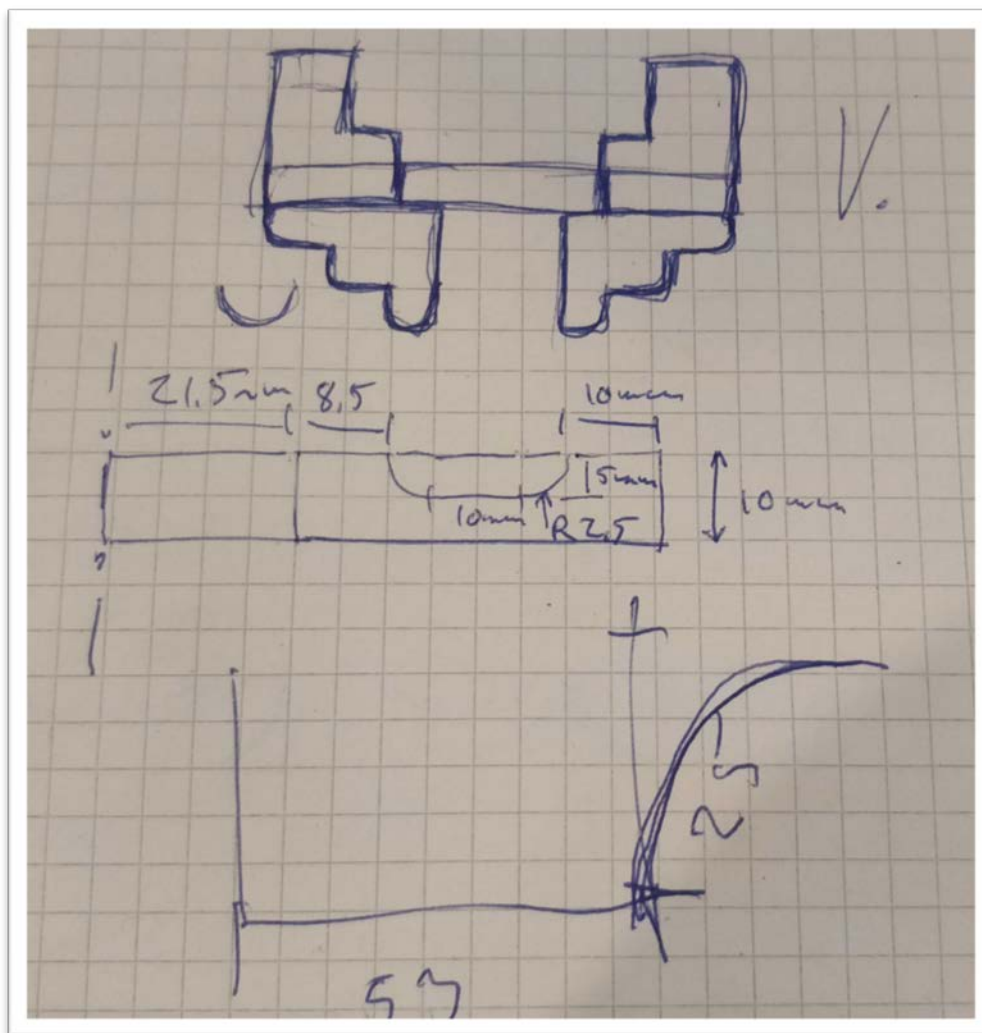
vaikutti yksinkertaisemmalta ja tukevammalta ratkaisulta, jonka haasteet on mahdollista ratkaista hyvällä suunnittelulla.

### 4.3 Prototyyppi

Prototyypikonseptin suunnittelu ja siihen liittyvä tutkimus aloitettiin välittömästi konseptin 3. pohjalta. Suunnittelu sisälsi vaiheet pikaisesta materiaalitutkimuksesta, toimintaperiaatteen hahmottelun ruutupaperille kautta 3D-mallintamiseen.

Materiaalitutkimus tapahtui ottamalla yhteyttä eri kotimaisiin kumiosien valmistajiin. ABB:llä suoritettua työharjoittelun perusteella, oppilas osasi ottaa yhteyttä kumi-iskunvaimentimia valmistavaan Teknikum- nimiseen yritykseen. Muutaman päivän sähköpostiviestinnän jälkeen sovittiin konsultaatiotapaaminen, jossa käsiteltäisiin prototyypin toimintaperiaatetta. Kun konsepti oli arvioitu Teknikumin puolelta, todettiin, että kumi on väärä raaka-aine tähän sovellukseen, koska luonnonkumi ja synteettinen kumi ovat molemmat liian kovia aineita sovelluksen edellyttämän jouston saavuttamiseksi. Esittelyn aikana kävi kuitenkin ilmi, että yrityksen valmistama polyuretaani saattaisi sopia sovellukseen paremmin. Polyuretaanista on mahdollista valmistaa osia, jotka ovat kumia huomattavasti kimmoisampia, jotka silti palautuvat kumin lailla alkuperäiseen muotoonsa. Käsiteltyämme polyuretaanosia totesimme, että eräs Teknikumin polyuretaaniresepteistä olisi tarpeeksi pehmeä sovellusta varten. Polyuretaanijoustimet muotoiltaisiin siten, että jousto syntyisi radiaalisessa joustossa materiaalin taivutuksen avulla ja aksiaalisessa joustossa puristuksen avulla. Kun oikea raaka-aine oli löytynyt ja joustimien muotoilun yksityiskohtia tarkasteltu lähemmin, Teknikumin edustaja lupautui valmistamaan polyuretaanosat korvauksetta prototyyppiä varten, jos toimitamme heille valmiit muotit osien valmistusta varten. Taulukossa on esitetty Teknikumin laskemat joustot polyuretaanijoustimille. Laskelmat perustuvat yrityksen salaisten polyuretaanireseptien tuottamiin materiaaliominaisuuksiin.

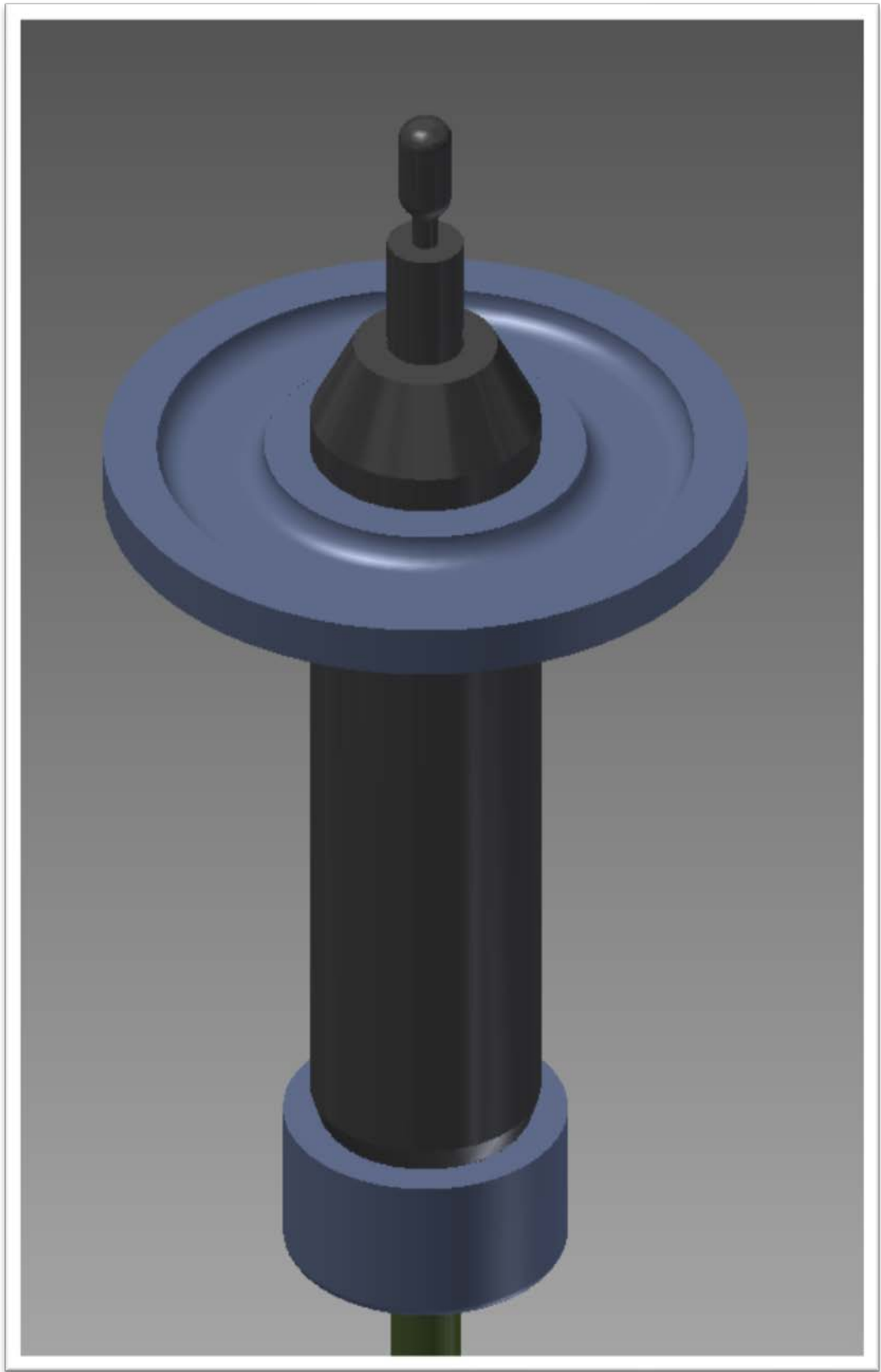
Suunniteltu radiaalisen jouston määrä	Suunniteltu aksiaalisen jouston määrä	Työstövoima, jolla saavutetaan suunnitellut joustot
Max. 4 mm	Max. 2 mm	Max. 20 N



**Kuvio 20.** Hahmotelma joustimien muodosta.

Kun järjestelmän jouston tuottava mekanismi oli suunniteltu periaatteen tasolla, piti valita työkalu järjestelmää varten. Konseptien karsinnan yhteydessä oli päätetty käyttää työkaluna pneumaattista hiomaporaa. Päädyin esittämään, että jo aiemmin jäysteenpoistoon käytetty käsityökalu olisi halpa ja toimiva ratkaisu. Näin voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa työkalua pienin muokkauksin. Tämä oli myös helppo valinta toiminnalliselta kannalta, koska työkalu oli todettu toimivaksi käsikäytössä.

Järjestelmän 3D-mallinnus oli helppo aloittaa järjestelmän joustomekanismin ja työkalun valinnan myötä, työkalun mittoja hyödyntäen. Ensimmäisenä suunniteltiin työkalun joustimet ja niistä koottiin työkalun 3D-mallin kanssa kokonaisuus.



**Kuvio 21.** Työkalujärjestelmän 3D-malli ilman koteloa.

Joustimille ja työkalulle piti seuraavaksi suunnitella kotelo, jonka sisäseinämiä vasten joustimet voivat tukeutua ja luoda järjestelmän jouston. Ensimmäisessä versiossa kotelo oli yksiosainen ja avoin yläpäästä. Kotelon toiminnallisuus kuitenkin oli jo selvää. Työkalun joustimille suunniteltiin kotelon sisäpuolelle paikoitus, joka pitää joustimet mekaanisesti paikoillaan. Paikoituksen avulla joustimet pystyvät liikkumaan työkalun mukana tarkoituksenmukaisesti, mutta eivät pääse pakene-  
maan kotelosta.



**Kuvio 22.** Työkalujärjestelmän kotelon ensimmäinen versio.

Työkalun, joustimien ja työkalun yhdistelmä esitettiin T-Drillin yhteyshenkilölle ja järjestelmä hyväksyttiin muutamin muutoksin. Valmistettavuuden helpottamiseksi koteloä muokattiin siten, että kotelosta tehtiin yksiosaisen sijasta kolmeosainen. Näin kotelo on helpompi koneistaa ja kokoonpanna. Koteloon lisättiin myös kansi, jonka muotoilulla pyrittiin estämään jäysteen pääsy polyuretaaniosiin, joissa se voi kuluttaa pehmeän materiaalin rikki.



**Kuvio 23.** Työkalujärjestelmän kotelon toinen versio.

## **Osien tilaus ja valmistus**

Järjestelmään hankittiin ulkoisilta toimitsijoilta osia paineenohjaukseen työkalulle ja teetettiin joustimet. Tietokoneohjattu VUVS-L30-M32C-AD-G38-F8-1C1 -painelmaiventtiili, jonka avulla työkalun käyttö voidaan ohjelmoida osaksi robottisolun automaatiota, tilattiin Festolta. Joustimet teetettiin Teknikumilla T-Drillillä koneistettujen muottien avulla. Kotelon kolme osaa ja joustimien kahden muotin kummatkin osat valmistettiin T-Drillin omista raaka-aineista omalla koneistamolla.

## **Prototyypin kokoonpano ja testaus**

Opinnäytetyön kirjallisen osuuden valmistumisen aikaan kokoonpantavat osat on koneistettu tai vielä koneistettavana. Tarkoituksena on kokoonpanna ja testata järjestelmän lopullinen toiminta ennen opinnäytetyön esitystilaisuutta. Joka tapauksessa prototyyppi aloittaa testausvaiheen T-Drillillä heti valmistuessaan ja sen ensimmäisiä tuloksia voidaan tarkastella opinnäytetyön esittelytilaisuudessa.

## **Testaussuunnitelma**

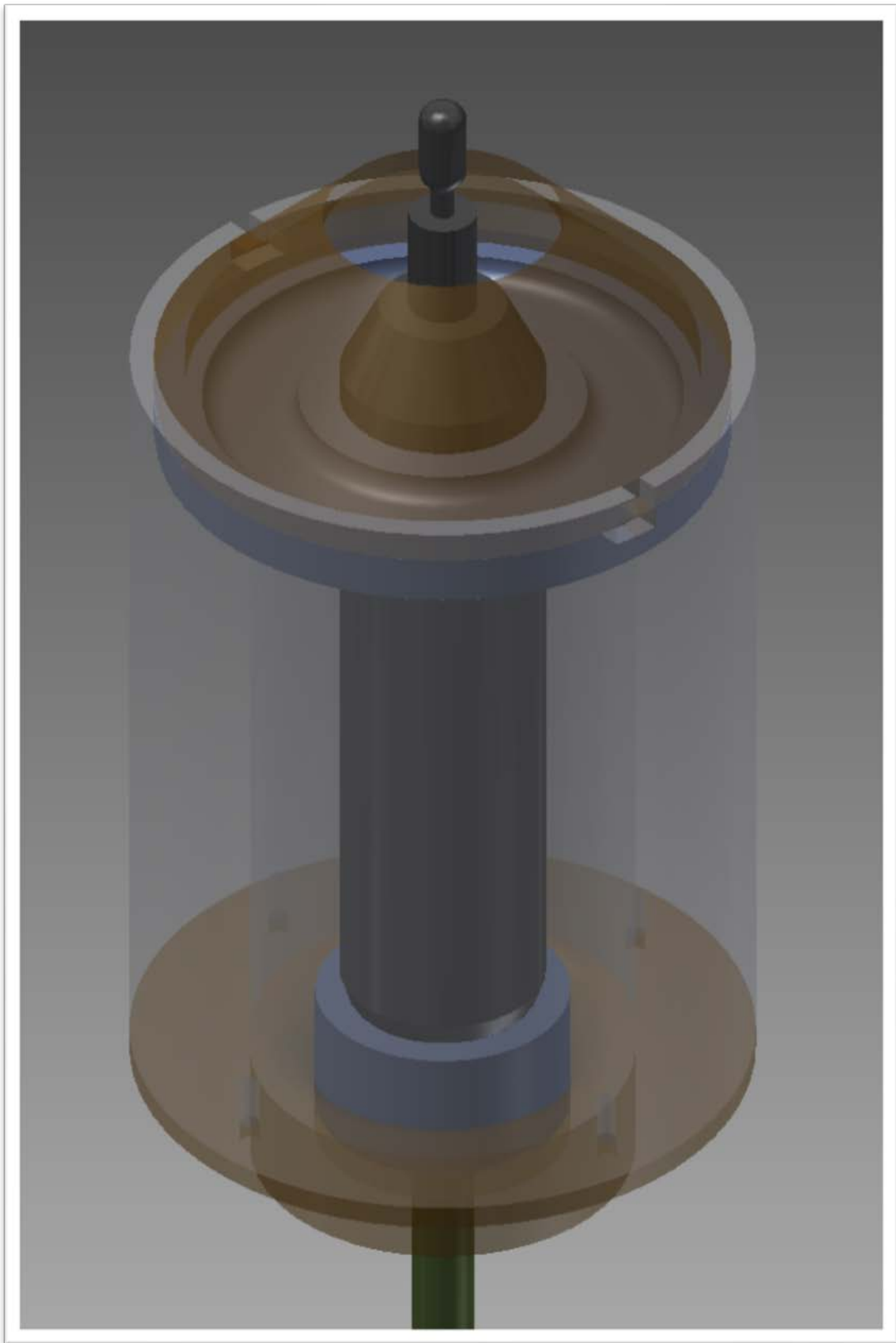
Työkalujärjestelmää on tarkoitus testata kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisten vaiheen tavoite on tutustuttaa robotin käyttäjä työkalun käyttäytymiseen, ominaisuuksiin ja toimintaan. Vaiheessa kaksi on tarkoitus testata työkalun kykyä poistaa jäystettä tavallisimmista geometrisista muodoista, tarkastella työn jälkeä ja sen vaikutuksia hiontakärkeen. Testausvaiheessa kolme työkalua sovelletaan lopullisessa käyttökohteessa, koneistetun putkityökalun jäysteenpoistossa.

Testaus ja sen vaiheen on esitelty taulukossa (Taulukko 1.)

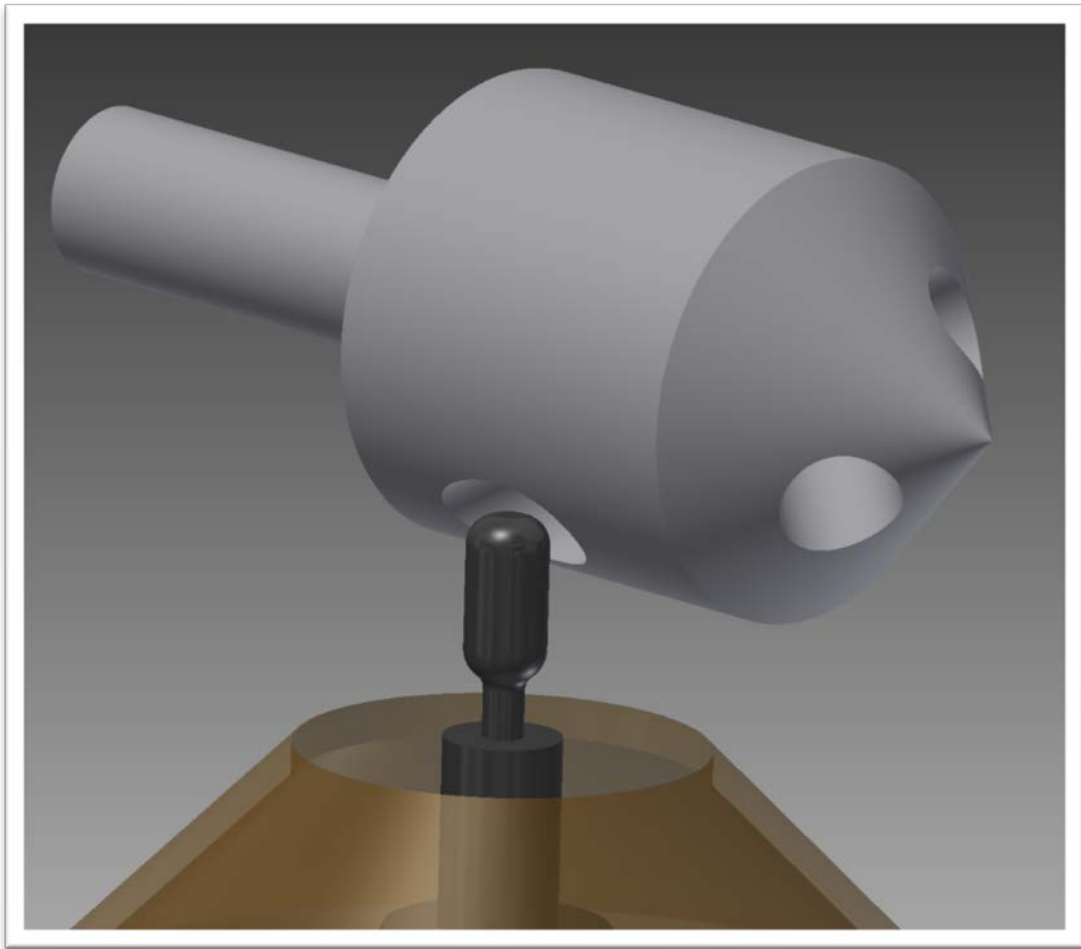
	<b>Testausvaihe 1. Tutustumisvaihe</b>	<b>Testausvaihe 2. Hiontatestausvaihe</b>	<b>Testausvaihe 3. Sovellustestivaihe</b>
1.	Käynnistetään työkalu ilman ulkoista kuormitusta. Tarkistetaan kokoonpano käynnin aikana ilmeisiltä ongelmilta.	Hiotaan jäystettä suora- kulmaisesta reunasta 100 mm matkalta yhdellä liikkeellä.	Hiotaan jäystettä putki- työkalun ovaalin po- rausreiän reunoista yhdellä liikkeellä
2.	Testataan jouston määrä työstövoimalla työkalu sammutet- tuna.  (10-20 N)	Hiotaan jäystettä pyöre- ästä suorakulmaisesta reunasta, hioen koko kierros yhdellä liik- keellä.	Hiotaan jäystettä putki- työkalun ovaalin po- rausreiän reunoista use- alla pienellä liikkeellä
3.	Testataan jouston toi- mivuus työkalu käyn- nistettynä ja työstö- kuormalla ilman hion- taliikettä.  (10-20 N)	Hiotaan jäystettä jyrk- käläkulmaisesta pyöre- ästä reunasta, hioen koko liike yhdellä liik- keellä. (kulma alle 90 astetta)	Tarkastellaan hionta- kärjen kulumista joka testin jälkeen.
4.	Tarkastellaan hionta- kärjen kulumista en- simmäisen hionnan jälkeen	Hiotaan jäystettä tylp- päläkulmaisesta pyöre- ästä reunasta, hioen koko liike yhdellä liik- keellä. (kulma yli 90 as- tetta)	Vertaillaan työn jälkeä eri menetelmien välillä
5.		Toistetaan hiontatestit hiomalla kaikki kulmat usealla pienellä liik- keellä.	
6.		Tarkastellaan hionta- kärjen kulumista joka testin jälkeen	
7.		Vertaillaan eri menetel- mien työn jälkeä	

**Taulukko 1.** Työkalun testaussuunnitelma





**Kuvio 24.** Työkalujärjestelmän kokoonpano



**Kuvio 25.** Esimerkkikuva jäysteepoistosta

#### 4.4 Toimilaitteet

##### Työkalu

Työkaluna jäysteenpoistojärjestelmässä käytettiin Atlas Copcon PRO G2414 S150 viilauskonetta.

Max. pyörimisnopeus (r/m): 15500

Teho (W): 850

Paino (kg): 0,8

Ilmankulutus max. pyörimisnopeudella (l/s): 18

Ilmankulutus tyhjäkäynnillä (l/s): 7,2

Ilmansyöttöletkun halkaisija (mm): 13

Moottorin tyyppi: lamelli

Melutaso (dB): 76



**Kuvio 26.** Pneumaattinen viilauskone.

## Robotti

Fanuc M-710 ic 45M -teollisuusrobotti.

Kääntyvien akselien määrä: 6

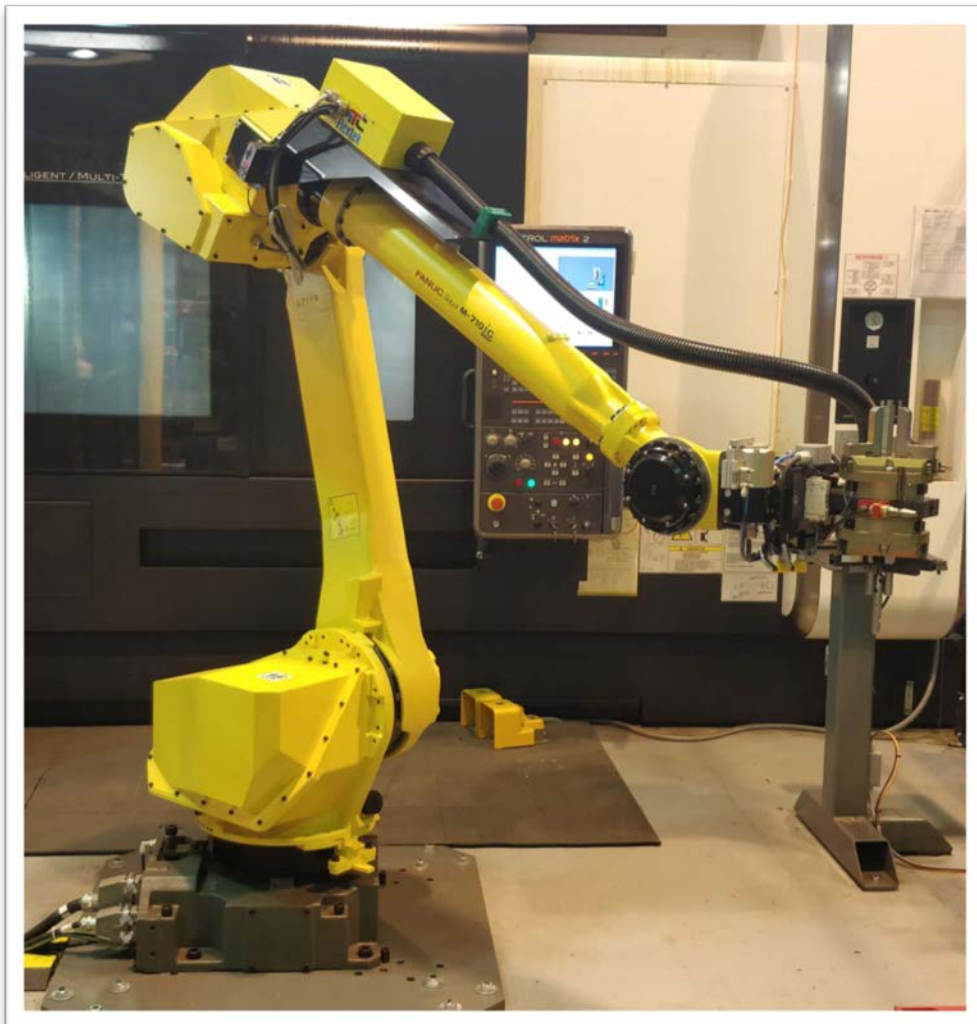
Liikkeentoistotarkkuus (mm): 0,06

Paino (kg): 570

Nostokyky (kg): 45

Ulottuvuus (m): 2,6

Melutaso (dB): 71,3



**Kuvio 27.** Fanuc M710 ic 45M teollisuusrobotti.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Arvio tuloksista

Projektin tutkimuskysymyksiä olivat, mitä eri jäysteenpoiston menetelmiä on olemassa ja mitä menetelmää voidaan käyttää robotisoidussa sovelluksessa. Projektin tavoite oli suunnitella ja rakentaa prototyyppi tutkimuksessa selvinneiden tietojen pohjalta. T-Drillin vaatimukset sovellukselle olivat yksinkertaisuus, hinta, huollettavuus ja jatkokehityspotentiaali.

Projektin tutkimuskysymyksiin löytyi riittävästi tietoa, jotta voitiin saavuttaa projektin tavoitteet. Soveltuvien lähteiden kartoittamisessa käytettiin opinnäytetöitä. Kirjallisuustutkimus tuotti vahvan tietopohjan jäysteenpoistosta, jota hyödyntäen ratkaisun innovointi oli helppoa.

Suunnittelutavoitteeseen päästiin onnistuneesti. Prototyyppijärjestelmä vastaa asetettuihin vaatimuksiin hyvin. Yksinkertaisuus tavoitteena täyttyi, koska järjestelmän mekaniikka on yksinkertaista, mutta vastaa toiminnallisesti toivottua tulosta. Suunnittelun sovelluksen valmistus- ja hankintakustannukset ovat alhaiset, joten suunnittelutavoite saavutettiin myös hinnan osalta. Järjestelmää on helppoa huoltaa ja ylläpitää, koska kaikki sen osat on helppo vaihtaa, osia on helppo valmistaa sekä niitä on saatavilla kilpailukykyiseen hintaan. Järjestelmän ominaisuudet ovat siten sellaiset, että sitä on helppo soveltaa muokaten myös muihin käyttökohteisiin, mistä syystä järjestelmän jatkokehityspotentiaali on suuri. Asetettu vaatimus jatkokehityspotentiaalista saavutettiin hyvin.

Ratkaiseva inspiraatio suunnittelutavoitteiden saavuttamiseksi löytyi Eugen Stonerin Armalite 15 -kiväärin kaasujärjestelmän toimintaperiaatteesta. Ylirasitustilanteita varten kiväärin kaasuputki on alimitoitettu siten, että suuressa rasituksessa kiväärin osista kaasuputki tuhoutuu ensimmäisenä. Tällä toimintaperiaatteella on tarkoitus pelastaa kiväärin muut kalliimmat osat vaurioilta halvemman helposti vaihdettavan osan kustannuksella. Samaa periaatetta hyödyntäen jäysteenpoistosovelluksen joustimet suunniteltiin siten, että ne tuhoutuisivat ennen muita osia.

Ominaisuus saavutetaan kun joustimien valmistukseen käytetään tarpeeksi pehmeää polyuretaaniseosta.

T-Drillille merkittävin tulos projektista on jäysteenpoistosovelluksen tuotekehityspotentiaali. Suunniteltu jäysteenpoistosovellus ei suoraan aiheuta tuotannon kasvua, koska se on suunniteltu vain tietylle työkalukoolle. Tuotekehityspotentiaali on kuitenkin merkittävä tulos, koska järjestelmän toimintaperiaatteen soveltaminen eri muodoissa ja kokoluokissa mahdollistaa myös muiden osien tuotannon automatisoinnin. Kehitetty ratkaisu on siten skaalautuva.

Myös robottisolun jatkokehityspotentiaali kasvaa. Koska robottisolun automaatio-taso nousee jäysteenpoiston robotisoinnin myötä, robottisolun tulevia haasteita ja kehitysideoita voidaan alkaa kartoittaa ja ratkaista. Kun solun tämänhetkiset toiminnot on automatisoitu, saadaan selville, kuinka paljon robotilla on aikaa muihin tehtäviin. Kartoittamalla robottisolun ajankäyttö, saadaan selville käyttämättömän aikaresurssin määrä. Solun ajankäytön kartoitus mahdollistaa uusien robottisovellusten tehokkaan käyttöönoton.

On selvää, että uusi sovellus lisää tuotannon arvoa merkittävästi, mutta arvon nousun määrä on mahdollista laskea luotettavasti vasta kuukausien tarkoituksenmukaisen käytön ja tuotekehityksen jälkeen. Vasta kun sovellus on ohjelmoitu ja optimoitu osaksi tuotantoprosessia, voidaan sen toiminnan arvosta kerätä tietoa.

## **5.2 Pohdintaa omasta oppimisesta**

Aiemmat oppilasprojektini ovat antaneet pohjaa tälle projektille, joka oli huomattavasti aiempia laajempi. Tämän projektin suunnitteluun laitettiin huomattavasti enemmän vaivaa kuin aiempiin. Tarkka suunnittelu ja laaja toiminnan hahmottelu loi hyvän perustan niin opinnäytetyön kirjalliselle osuudelle, selvitystyölle kuin suunnittelullekin. Varsinkin tutkimusmenetelmien ja tavoitteiden tarkka määrittäminen kantoi projektia vahvasti eteenpäin. Positiivisen oppimiskokemuksen perusteella, tulen varmasti käyttämään vastaavaa lähestymistapaa tulevien projektien suunnittelussa.

Yrityksen kanssa tehty yhteistyö projektin tiimoilta oli luontevaa helppokäyttöisten yhteyskanavien ja henkilökunnan positiivisen ja avuliaan asenteen ansiosta. T-Drillin tavoitteiden, tarpeiden ja käytettävissä olevien resurssien määrittäminen heti työn alussa teki työskentelystä paljon tehokkaampaa. Selkeä kommunikaatio ja yhteistyö oppilaan ja yrityksen välillä varmisti sen, että jäysteenpoistosovellus vastasi yrityksen vaatimuksiin.

Henkilökohtainen huippukohta projektissa oli sovelluksen toimintaperiaatteen tekemiseen ratkaisun suunnittelu ja Armalite-kiväärin teknisen suunnittelukonseptin soveltaminen. On todella palkitsevaa pystyä itse tulkitsemaan hyvin tarkasti määriteltyä suunnitteluperiaatetta ja soveltamaan sitä omaan suunnitteluun onnistuneesti. Tällaisen konseptin soveltaminen oli mahdollista, koska suunnitteluprosessi oli systemaattinen ja seurasi projektisuunnitelmaa tarkasti. Toinen henkilökohtainen onnistuminen projektissa oli kirjallisen osuuden tuottaminen, jonka koen sujuneen erityisen hyvin. Yllätin itseni sillä, kuinka mieluisaa on oman työskentelyn seikkaperäinen analysointi.

Ammatillisen oppimisen kannalta projektista jäi käteen hyvä kokemus teknisen laitteen suunnitteluprosessista ja siitä, millä tavalla teknisen laitteen suunnitteluun vaadittavaa taustatietoa etsitään ja sovelletaan tehokkaasti. Alussa laatimani projektisuunnitelma osoittautui erityisen tehokkaaksi työkaluksi, jota oikein käyttämällä kuljetettua työtä eteenpäin ja tuloksia tehokkaasti aikaiseksi. Projekti toi myös työelämän haasteita oppilastyön puitteisiin. Oli silmiä avaavaa havaita, kuinka yksittäisen teknisen tiedon puute saattaa halvaannuttaa koko suunnitteluprosessin ja muodostaa pullonkaulan. Myös kolmansien osapuolien kanssa kommunikointiin tulen jatkossa varaamaan aikaa, jotta kriittisen tiedon puute ei pääse yllättämään kun aikataulu kiristyy.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö on tuntunut minulle mielluisalta haasteelta, jonka aikana olen päässyt soveltamaan monia koulussa opittuja taitoja merkityksellisellä tavalla.

## LÄHTEET

- /1/ Hyvönen, E., 2001. Inhimillinen kone - konemainen ihminen. Yliopistopaino.
- /2/ Rupley J. & Vickers L., 2017. Vickers guide: AR-15. Mott Lake Publishing
- /3/ Robotics Industries Association. Unimate // the first industrial robot. Internetartikkeli. Viitattu 7.5.2018 <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>
- /4/ Vaasan ammattikorkeakoulu. VAMKin koulutusalat. Esittelysivu. Viitattu 7.5.2018 <http://www.vamk.fi/haku/esittely/>
- /5/ Berner, A. 2018. European robotics forum- tapahtuma. [avauspuheenvuoro] 13.3.2018. Tampere.
- /6/ Rogers, T., Creighton, M., Amano, S., Reuther, G., Max, N., Boran, E. 2015, Creative Mechanisms. Everything you need to know about polycarbonate. Blog. Viitattu 7.5.2018 <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-polycarbonate-pc>
- /7/ Marjamäki, P. 2012, Robotisoitu jäysteenpoisto. Opinnäytetyö. Viitattu 7.5.2018 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205219135>
- /8/ Suhonen, S. 2010, Jäysteenpoistoaseman suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Viitattu 7.5.2018 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010120917695>
- /9/ Lindroos, H. 2016, Jäysteenpoistorobotin käyttöönoton vaikutukset yritykselle. Opinnäytetyö. Viitattu 7.5.2018 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201602102112>
- /10/ Gillespie, L. 1999. Deburring and edge finishing handbook. USA. Society of Manufacturing Engineers.
- /11/ Konepaja Seppo Suomi Oy. Jäysteenpoistouunin esittelysivu. Viitattu 10.5.2018 <http://www.konepajasepposuomi.fi/fi/jaysteenpoisto>



**HAASTATTELUN KYSYMYSSARJA**

**Haastattelu**                      **T-Drill – Yhteyshenkilö** Juho-Pekka Hietamäki

**Oppilas – Haastatteli** Juuso Heikinheimo

**Kysymykset****Robotin toiminnan kuvaus**

1. Miten nykyinen menetelmä on kuvattu?
2. Millaisia kirjallisia kuvauksia nykyisestä järjestelmästä on?
3. Kuvia, kaavioita, jne. ?

**Robotin ajankäyttö. Robotin toiminnasta ( demo ? )**

1. Mihin robotti nykyään käyttää aikaansa?
2. Mikä on robotin nykyinen koko vastuualue? Mitä kaikkea robotti siis tekee?
3. Missä suhteessa aika kuluu verrattaessa työvaiheita keskenään?
4. Kuinka paljon ajasta robotti seisoo käyttämättömänä työvaiheiden välissä?
5. Kuinka kauan robotti työskentelee kussakin työvaiheessa?
6. Onko työvaiheiden välissä välivaiheita, jotka eivät ole työvaiheita eivätkä lepoa?

**Tehokkuudesta**

1. Kuinka tehokasta työskentely oli ennen robottia kyseisessä tuotannon vaiheessa?
2. Kuinka paljon robotti tehosti toimintaa? Miten mitattu?
3. Onko robotin käyttöönotto vaikuttanut tuotteiden laatuun? Millä tavalla?
4. Miten jäysteenpoiston robotisointi parantaa tuotannon tehokkuutta?
5. Mitä ongelmia robotisointi saattaa luoda tuotannollisesti?

**Robotin käyttötarkoitus**

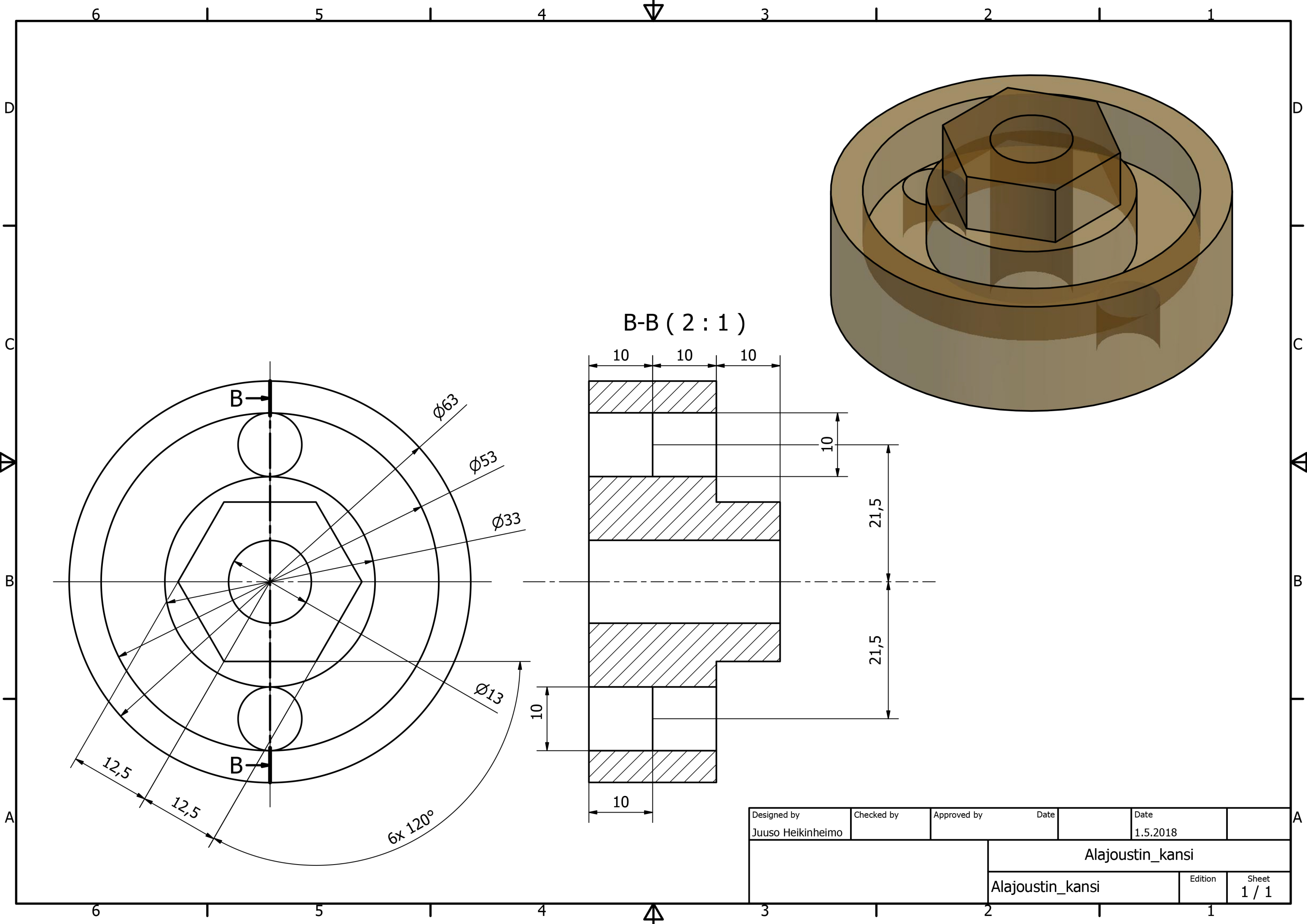
1. Mikä oli robotin alkuperäinen käyttötarkoitus?
2. Mikä on sen nykyinen käyttötarkoitus?
3. Mitä robotilla on suunniteltu tehtäväksi tulevaisuudessa?
4. Mikä on tärkein asia uudessa jäysteenpoistosovelluksessa?

**Turvallisuudesta**

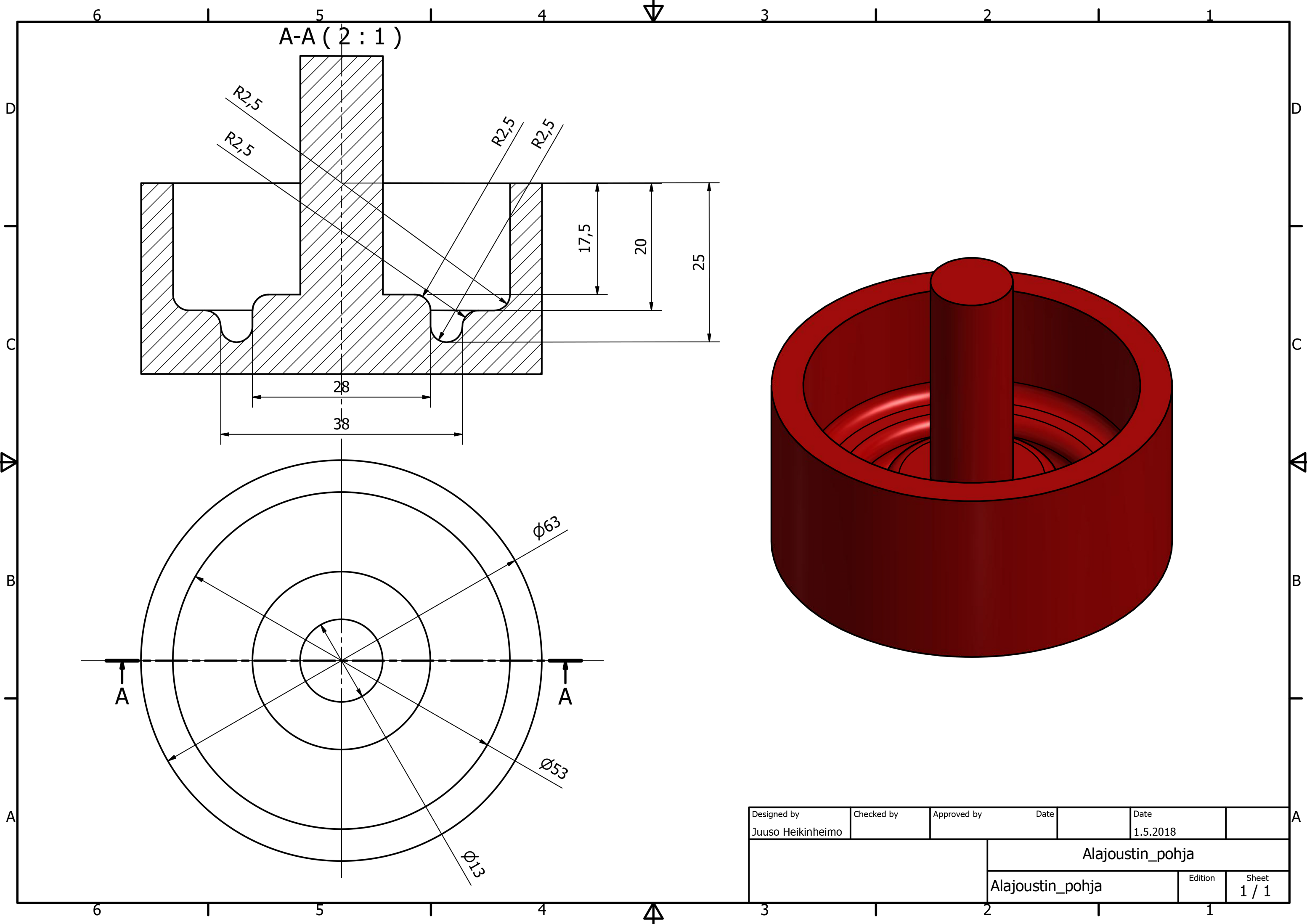
1. Onko robotista aiheutunut jotain turvallisuusriskejä tai haittaa?
2. Mitä turvallisuusriskejä on nykyisessä jäysteenpoistomenetelmässä?
3. Mihin niistä halutaan parannusta robotisoimalla jäysteenpoisto?
4. Mitä muita turvallisuusriskejä on robotisoinnin tai jäysteenpoiston yhteydessä on otettu ja on otettava huomioon?
5. Mitä huomioita turvallisuudesta on otettava huomioon mitkä eivät olleet ennen ongelmia?

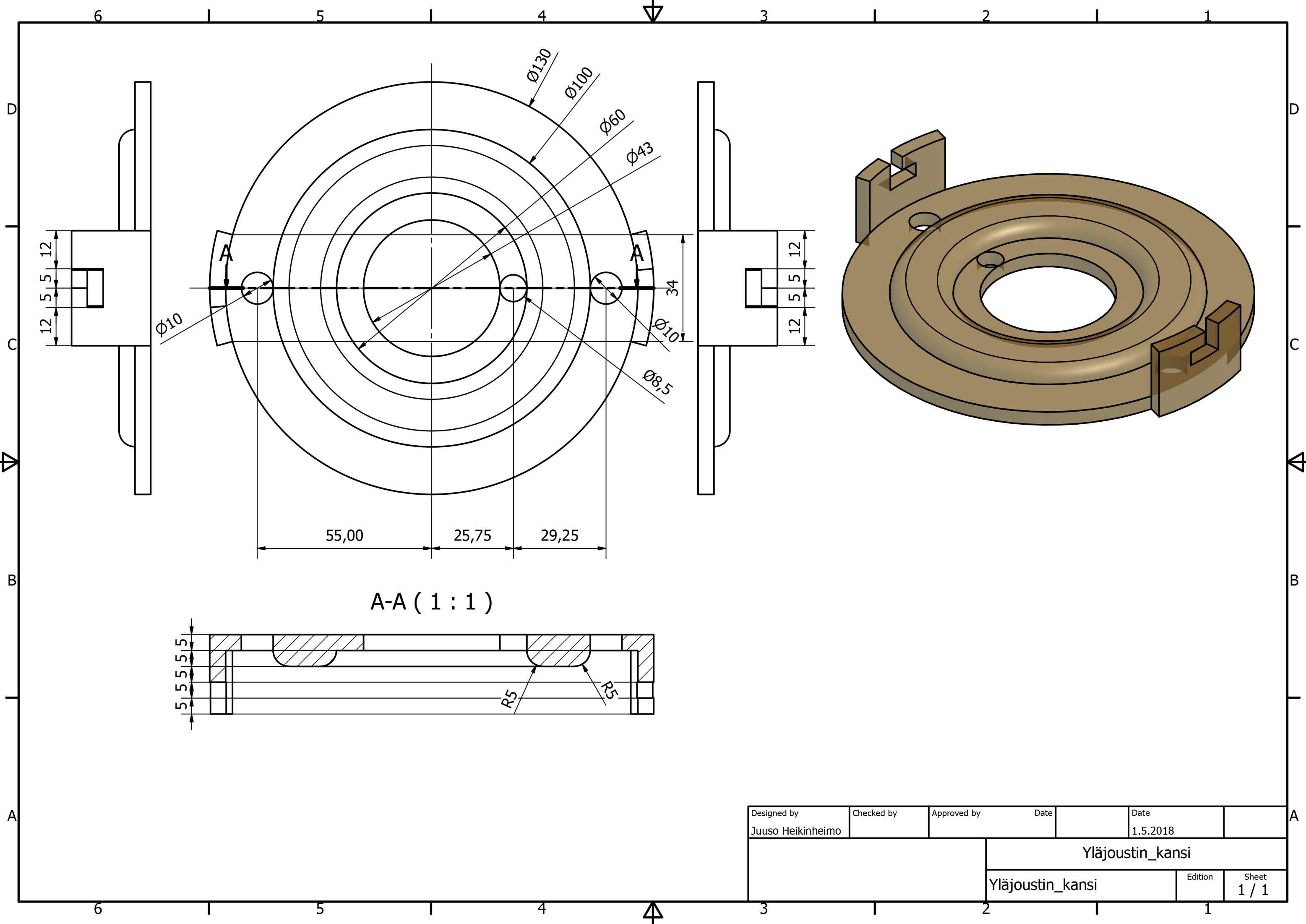
**Vaatimukset sovellukselle**

1. Millaisella tarkkuudella jäyste pitää saada poistettua? Mittoja ?
2. Mihin täsmälliseen osaan ensimmäinen sovellus suunnitellaan?
3. Onko T-Drillille merkitystä sillä, onko työkalu kiinni robotissa vai kiinteästi ulkoisena työkaluna jota vasten robotti tuo osan.
4. Onko ehdotuksia / mielipiteitä vastaavista sovelluksista, joista olet pitänyt?
5. Onko jotakin tiettyjä vaatimuksia sovelluksen ominaisuuksille ?
6. Onko jotakin tiettyjä vaatimuksia sovelluksen toimintaperiaatteelle?

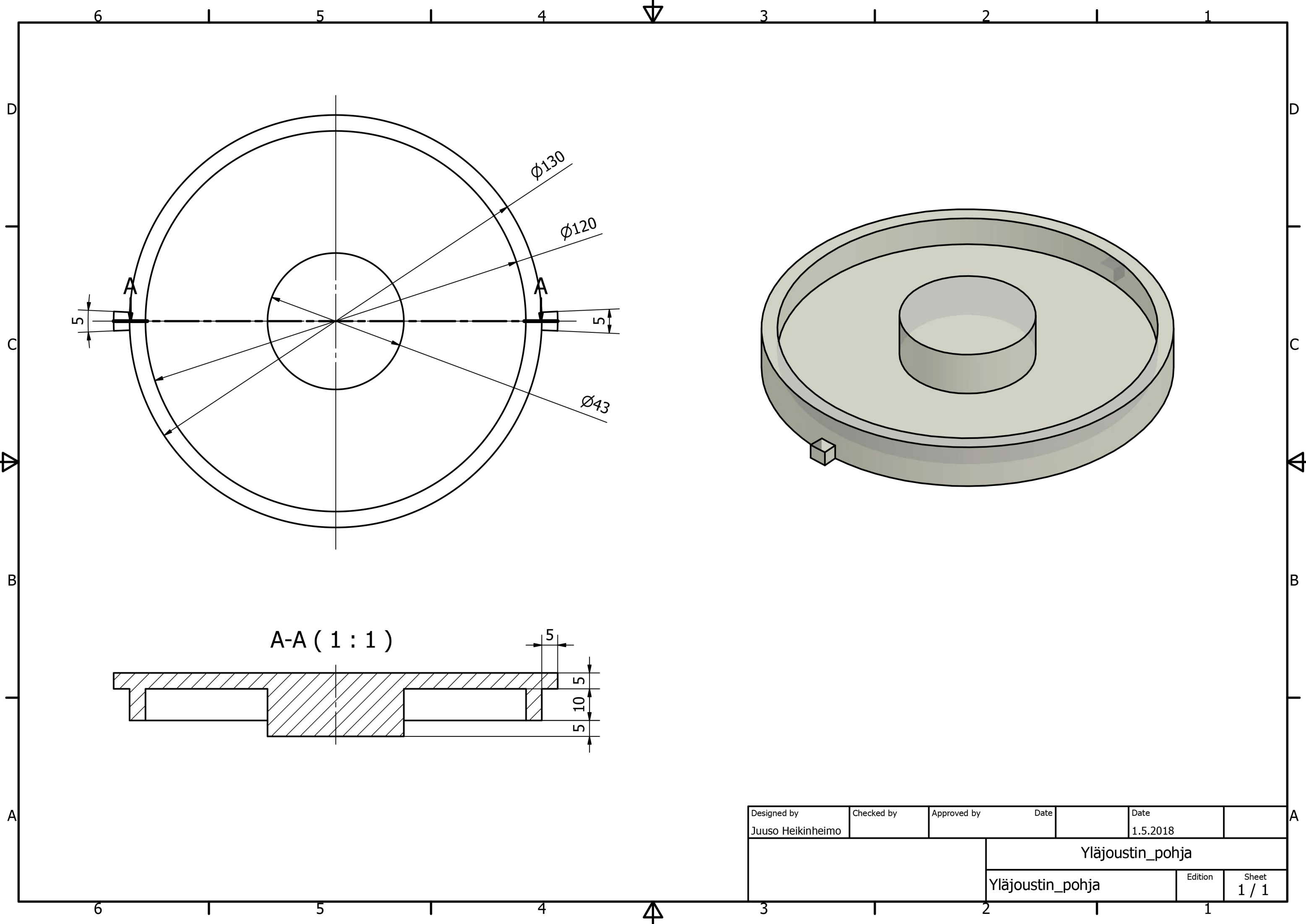


Designed by Juuso Heikinheimo	Checked by	Approved by	Date 1.5.2018	
		Alajoustin_kansi		
		Alajoustin_kansi	Edition	Sheet 1 / 1



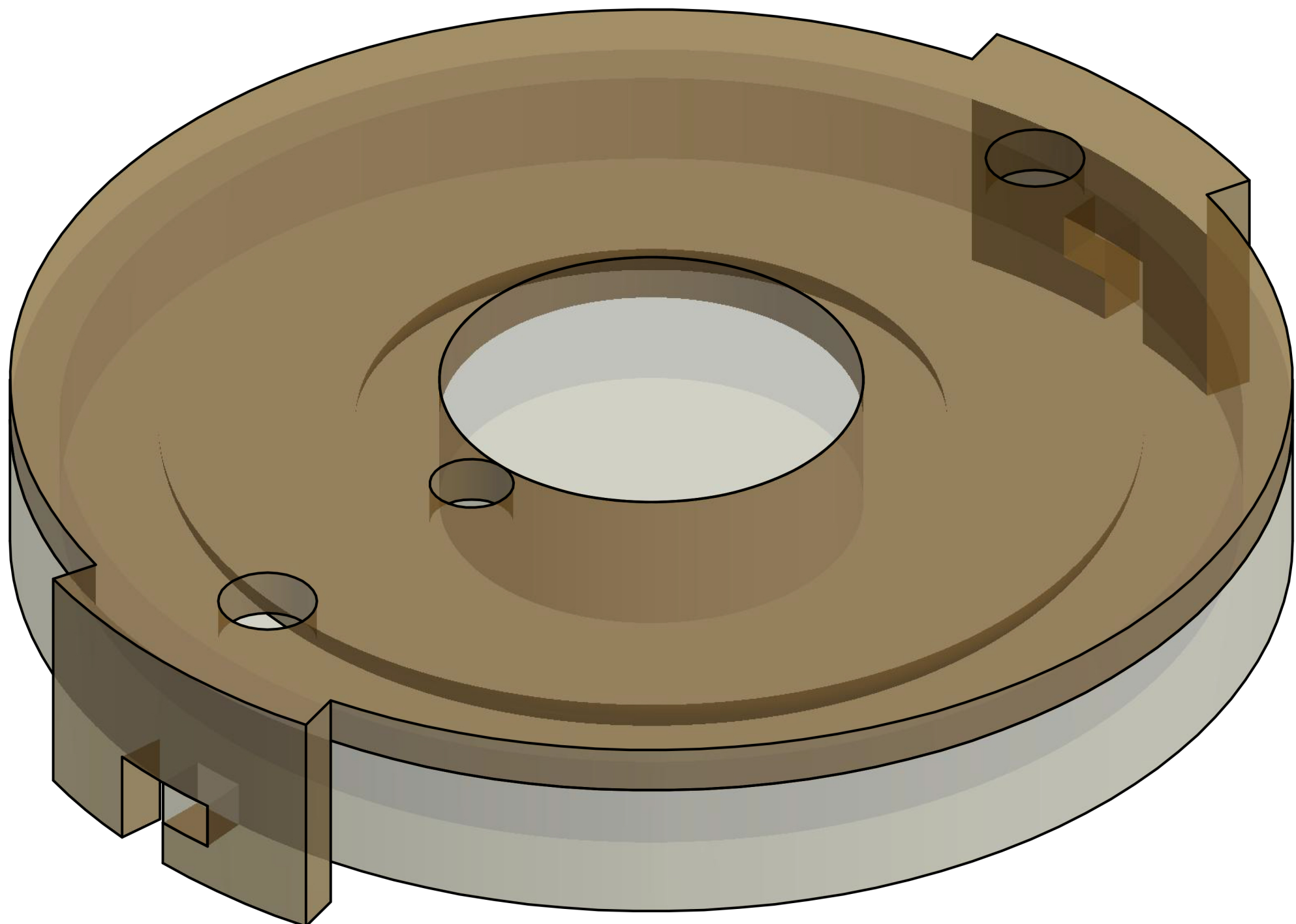


Designed by Juuso Heikinheimo	Checked by	Approved by	Date	Date 1.5.2018	
		Yläjoustin_kansi			
		Yläjoustin_kansi	Edition	Sheet 1 / 1	

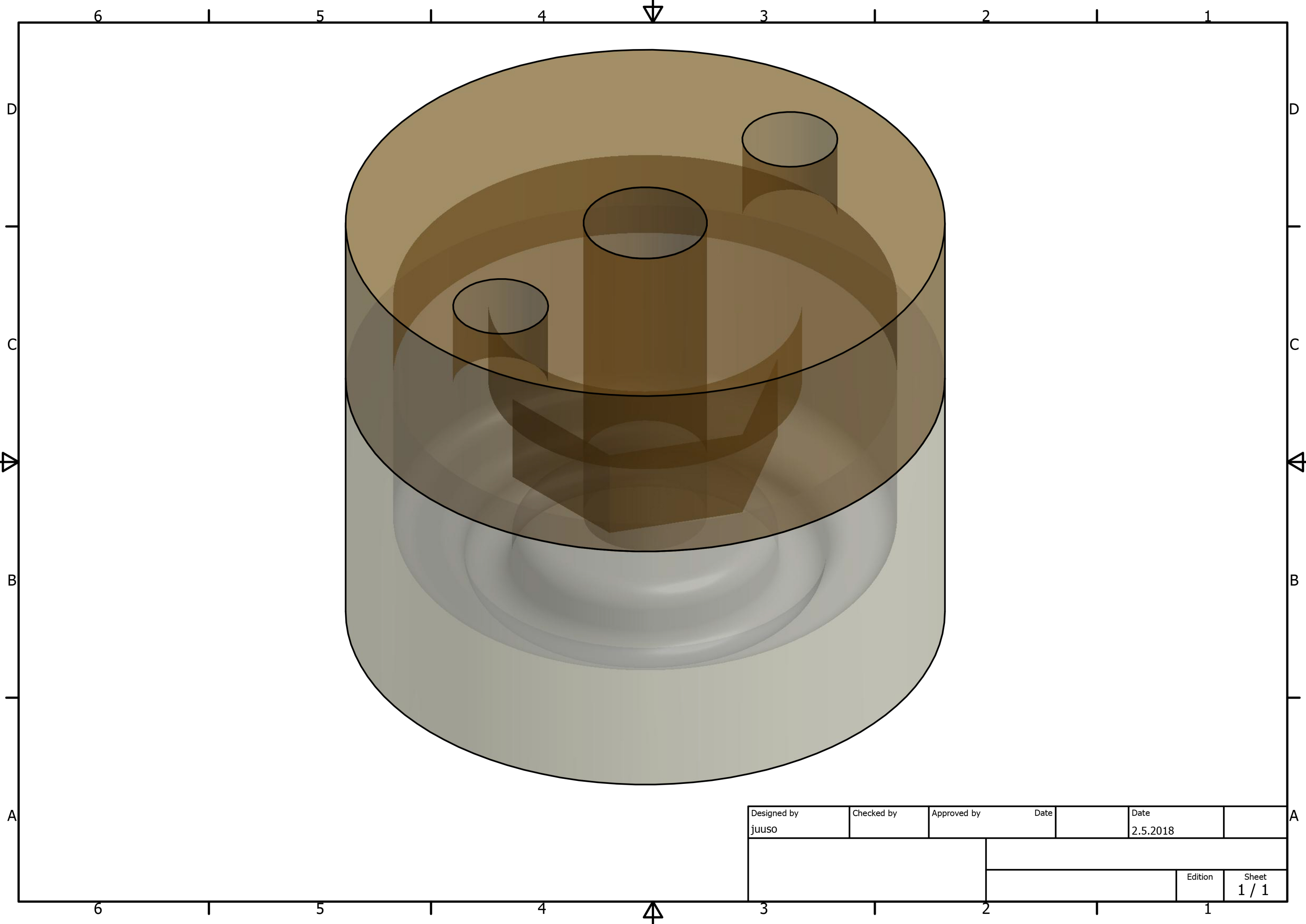


Designed by Juuso Heikinheimo	Checked by	Approved by	Date	Date 1.5.2018	
		Yläjoustin_pohja			
		Yläjoustin_pohja		Edition	Sheet 1 / 1

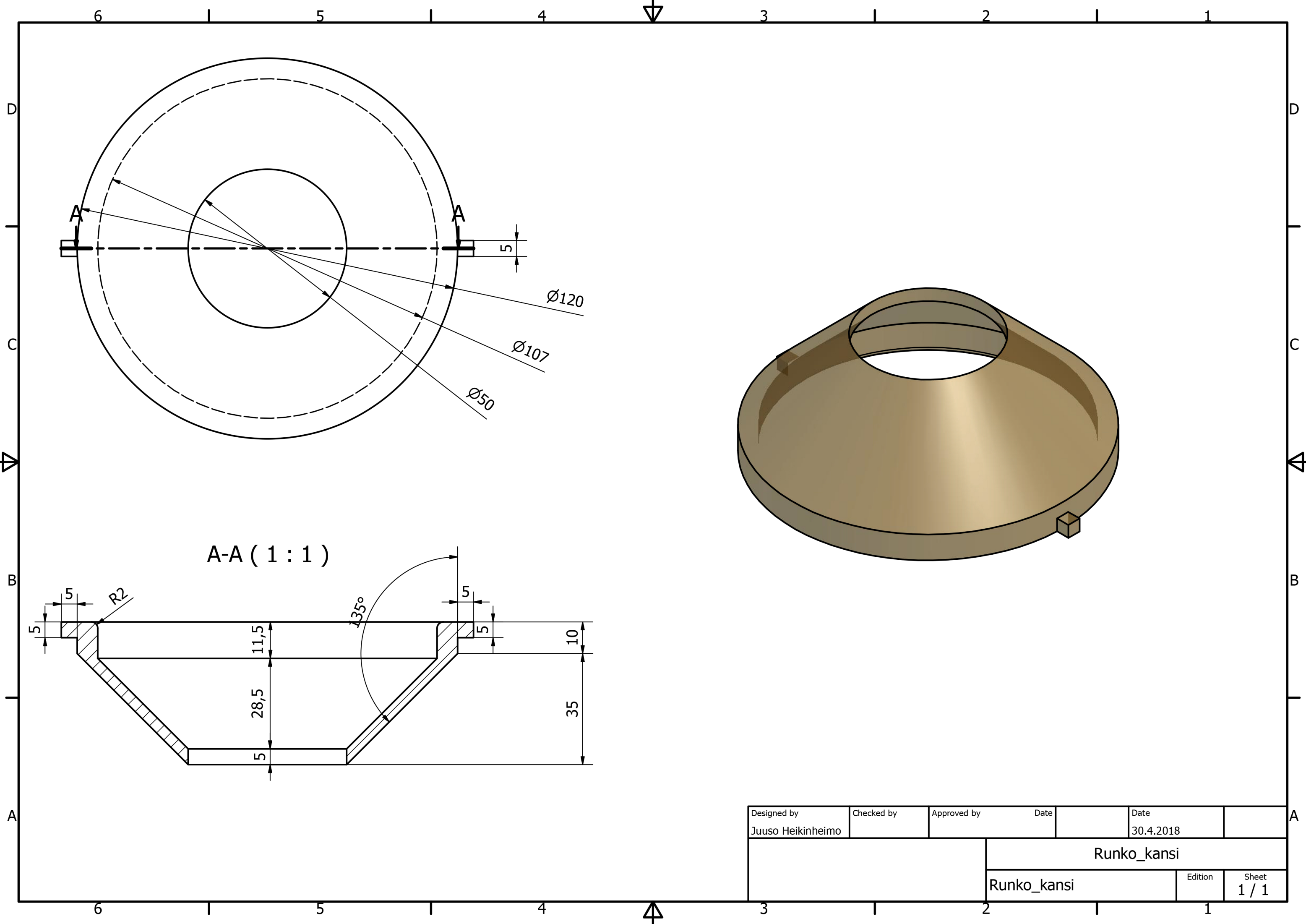




Designed by juuso	Checked by	Approved by	Date		Date	2.5.2018	
					Edition		Sheet 1 / 1

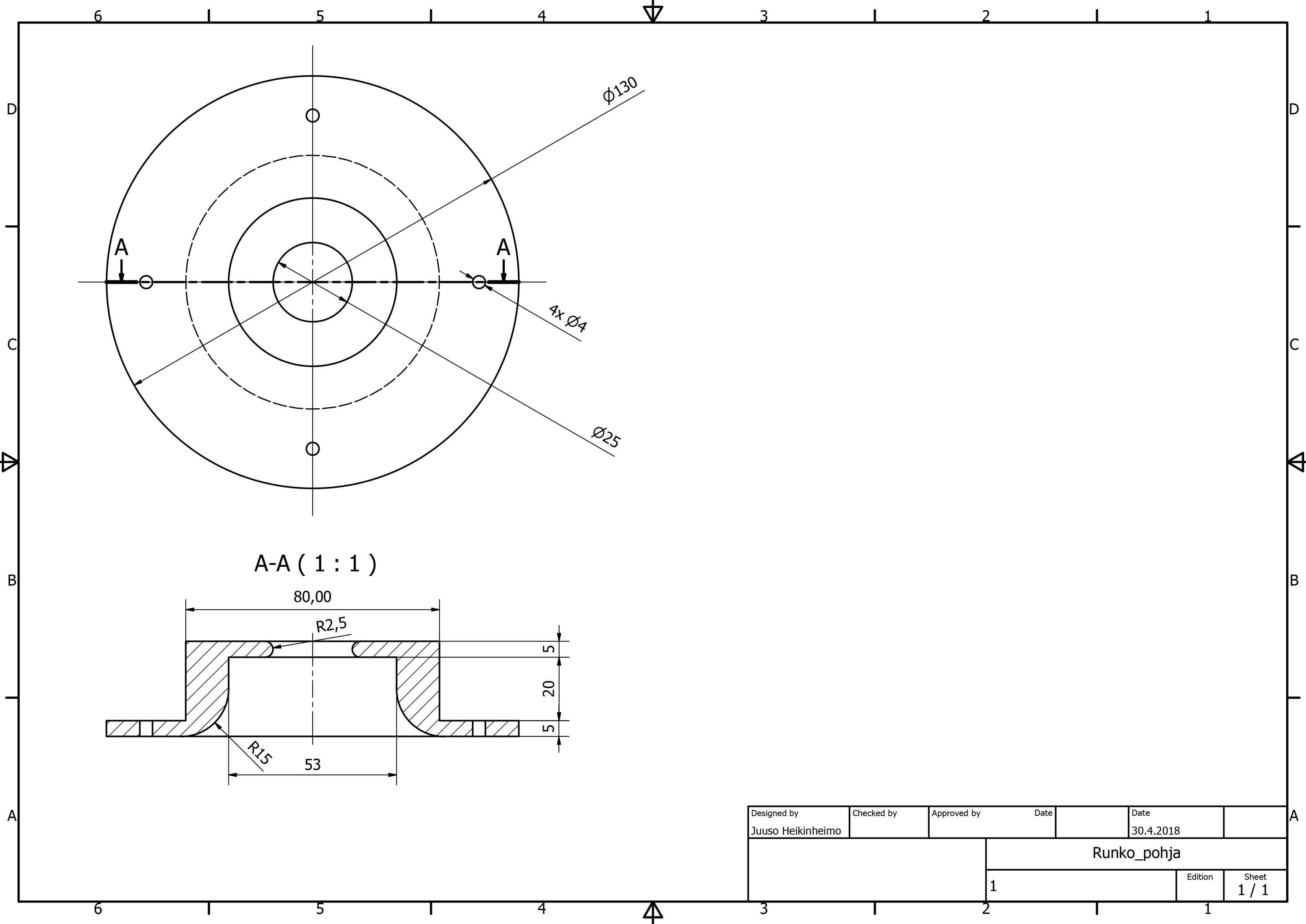


Designed by juuso	Checked by	Approved by	Date		Date	2.5.2018	
					Edition		
					Sheet 1 / 1		



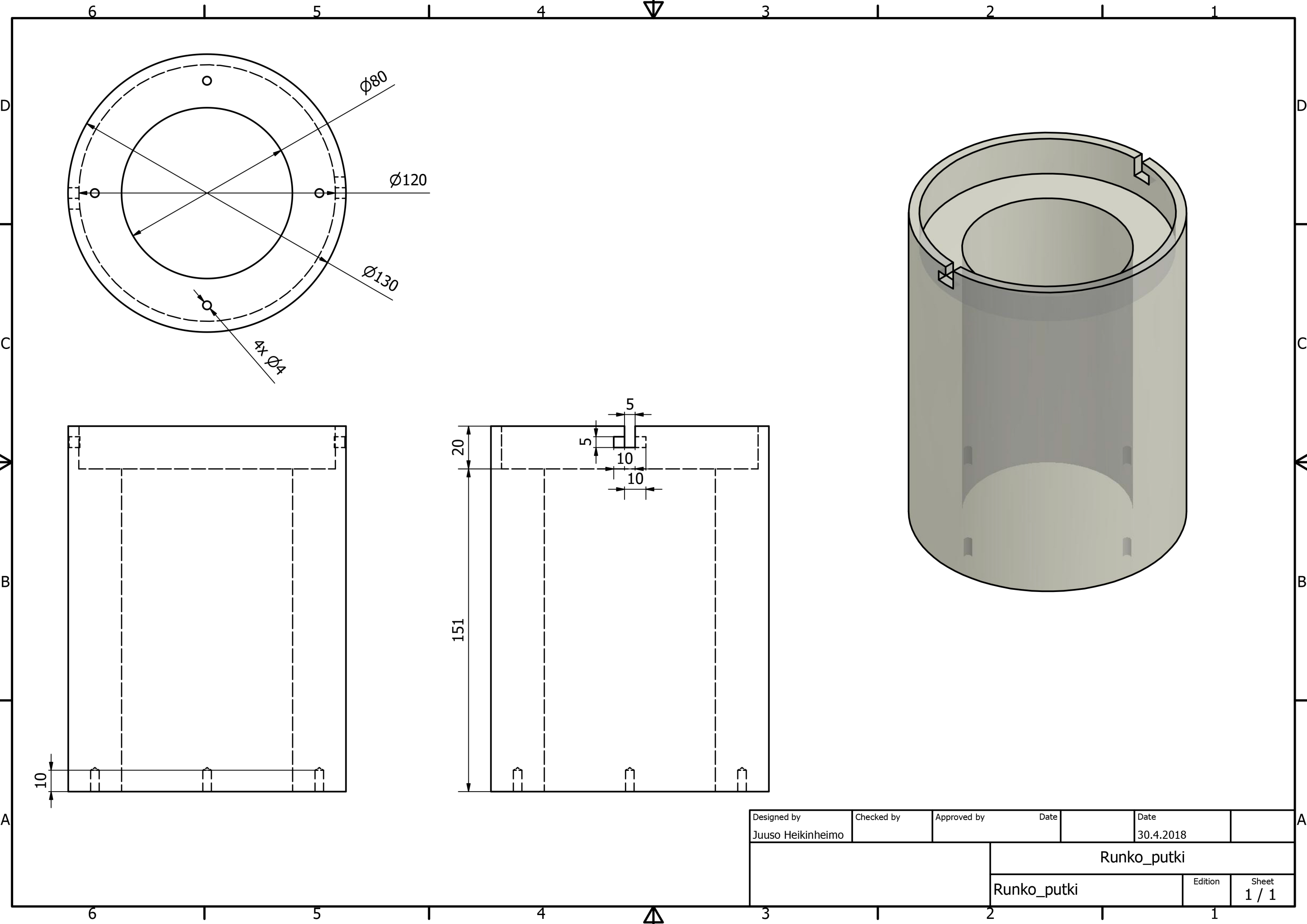
Designed by Juuso Heikinheimo	Checked by	Approved by	Date	Date 30.4.2018	
			Runko_kansi		
			Runko_kansi	Edition	Sheet 1 / 1





A-A ( 1 : 1 )

Designed by Juuso Heikinheimo	Checked by	Approved by	Date	Date 30.4.2018	
			Runko_pohja		
			1	Edition	Sheet 1 / 1



# M-710iC/45M (High inertia version)



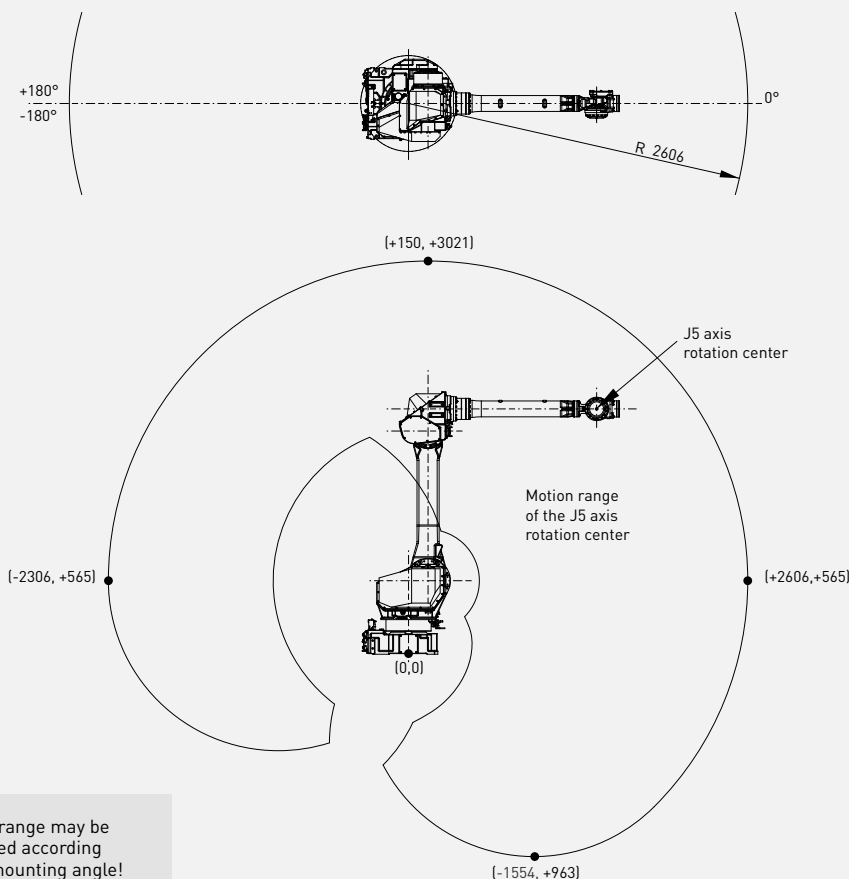
Max. load capacity  
at wrist: **45 kg**



Max. reach:  
**2606 mm**

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm <sup>2</sup> )	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm <sup>2</sup> )	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm <sup>2</sup> )
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.06*	570	360	225	440	800	250	800	180	180	180	250	250	360	206/28	206/28	127/20

## Working range



Motion range may be restricted according to the mounting angle!



## Robot

	M-710iC/45M
Robot footprint [mm]	535 x 550
Mounting position Floor	●
Mounting position Upside down	●
Mounting position Angle	●



## Controller

	R30iB
Open air cabinet	-
Mate cabinet	○
A-cabinet	●
B-cabinet	○
iPendant Touch	●

## Electrical connections

Voltage 50/60Hz 3phase [V]	380-575
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	-
Average power consumption [kW]	2.5

## Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out	8/8
Integrated air supply	1

## Environment

Acoustic noise level [dB]	71.3
Ambient temperature [°C]	0-45

## Protection

Body standard/optional	IP54/IP67
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

● standard ○ on request - not available [ ] with hardware and/or software option

\*Based on ISO9283

Juuso Heikinheimo, VAMK, Tekniikka

Opinnäytetyö, projektisuunnitelma 6.2.2018

Ohjaaja Mika Billing

<b>Projektisuunnitelman tiedot</b>	<b>Sisältö</b>
<b>1. Yrityksen nimi, osasto ja paikkakunta</b>	T-Drill Oy, koneistamo, konepavelurobottisolu Tolkintie 23, 61500 Isokyrö
<b>2. Teollisuuden ala</b>	Konepajateollisuus, putkityökalujen valmistus
<b>3. Yrityksen yhteyshenkilöt</b>	Toimitusjohtaja Anne Hanka, Anne.Hanka@t-drill.fi, 040 867 4918 Tuotanto- ja kehityspäällikkö Juha Murtomäki, Juha.Murtomäki@t-drill.fi, 040 868 4594 Yhteyshenkilö Juho-Pekka Hietamäki, Juho-Pekka.Hietamaki@t-drill.fi, 050 353 7630
<b>4. Tutkimuksen aihe</b>	Robotisoitu jäysteenpoisto
<b>5. Tutkimuskysymykset</b>	Mitä robotisoituja jäysteenpoistomenetelmiä on olemassa? Mitä sovelluksista voitaisiin käyttää T-Drillillä?
<b>6. Tutkimusmenetelmät ja lähteet</b>	Systemaattinen tiedonkeruu internetistä Kirjallisuustutkimus (opinnäytetyöt) Vastaavien ratkaisujen vertailu Vertaiskonsultointi 3D mallinnus Kenttähavainnot Haastattelu

<p><b>7. Välitavoitteet ja aikataulu</b></p>	<p>Työaika on 11 viikkoa.</p> <p>Välipalautukset tarkistusta varten viestinnän opettajalle ja ohjaajalle.</p> <p><u>Viikot 6–8</u>  Työsuunnitelman laatiminen  Lähdeaineiston kartoitus, siihen tutustuminen ja referaatit  Alustava vertailukohteiden määrittely  1. palautus 23.2.</p> <p><u>Viikko 9</u>  Luonnos työn sisällöstä ja työsuunnitelman tarkentaminen  T-Drill:in tarpeiden määrittäminen ja kuvailu (haastattelu)  2. palautus 2.3.</p> <p><u>Viikot 10–12</u>  2-3 Eri järjestelmän vertailu, joissa robotisoitu jäysteenpoistosovellus  3. palautus 23.3.</p> <p><u>Viikot 13–14</u>  Konseptiehdotus T-Drillille. Havainnollistavia 3D malleja, animaatioita, sovelluksen vaiheiden toiminnan selostus.  4. palautus 6.4.</p> <p><u>Viikko 15</u>  Taitto ja työn viimeistely  Työ luovutetaan 16.4 mennessä.</p>
<p><b>8. Projektin tavoitteet</b></p>	<p>Esitys robotisoidun jäysteenpoiston menetelmistä ja konseptiehdotus sovelluksesta T-Drillin konepalvelurobottisoluun. PDF raportin laajuus on 40–80 sivua.</p>
<p><b>9. Vastuunjako</b></p>	<p>Juuso Heikinheimo</p>
<p><b>10. Salassapito</b></p>	<p>Koulun opinnäytetyösopimus on allekirjoitettu.</p> <p>Salaiset tiedostot määrittää T-Drill.</p> <p>Salaisia tiedostoja säilytetään vain paikallisesti muistitikulla.</p>

<p><b>11. Työssä sovellettavan tiedon AMK kurssit</b></p>	<p>Koneen rakenteen analysointi Tietokone opiskeluvälineenä Materiaalit Konepajatekniset mittaukset Konealan työturvallisuus Teknillisen piirtämisen perusteet</p> <p>Koneen valmistustekninen analysointi Tiedottava viestintä Tekniikan englanti 1 Statiikka Mekaniikka Tietokoneavusteinen koneenpiirustus (AutoCAD) Kokoonpanoprojekti Konealan sähkötekniikka Pneumatiikka ja hydraulikka Tietokoneavusteinen valmistus Vaihdelaatikkoprojekti Tietokoneavusteinen konesuunnittelu (Inventor)</p> <p>Mekanismit ja niiden ohjaus Koneautomaatio Koneenelimet Tekniikan englanti 2</p> <p>Tuotteen konseptisuunnittelu 3D-mallinnus ja tuotetiedon hallinta (NX ja Teamcenter) Suullinen ja kirjallinen vaikuttaminen Tuotekehitys- ja suunnitteluprojekti 1 Robotiikka</p> <p>Tuotteen kehittäminen 3D-CAM-ohjelmointi (NX) Tuotekehitys- ja suunnitteluprojekti 2 Energiatekniikan fysikaaliset perusteet</p> <p>Energiateknisen laitteen suunnittelu 3D-tuotesuunnittelu (NX) Automaattinen kokoonpano Koneturvallisuus ja CE-merkintä Simultaanis suunnittelu (NX ja Teamcenter) 3D-tuoteprojekti (NX ja Teamcenter)</p> <p>Automatisoitu tuotanto Automaatiojärjestelmät Robotisoidut järjestelmät Teknillinen matematiikka Robotiikan sovellusharjoitukset Tutkimustyön menetelmät</p>
---	--